

RKTL:n työraportteja 22/2012

Lohen vaelluspoikasten radio- telemetriaseuranta Iijoella vuosina 2010–2011

Riina Huusko, Panu Orell, Olli van der Meer, Mikko Jaukkuri ja Aki Mäki-
Petäys



Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki
2012



Julkaisija:
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Helsinki 2012

ISBN 978-951-776-932-7 (Verkojulkaisu)

ISSN 1799-4756 (Verkojulkaisu)

RKTL 2012

Kuvailulehti

Tekijät Riina Huusko, Panu Orell, Olli van der Meer, Mikko Jaukkuri ja Aki Mäki-Petäys			
Nimeke Lohen vaelluspoikasten radiotelemetriaseuranta lijoella vuosina 2010-2011			
Vuosi 2012	Sivumäärä 30	ISBN 978-951-776-932-7	ISSN ISSN 1799-4756 (PDF)
Yksikkö/tutkimusohjelma Tutkimus- ja asiantuntijapalvelut			
Hyväksynyt Jaakko Erkinaro, tutkimus- ja asiantuntijapalvelut			
Tiivistelmä <p>Luonnonvaraisten vaelluskalakantojen palauttaminen rakennettuihin jokiin on noussut viime vuosina vahvasti esille EU:n vesipolitiikan ja kansallisen kalatiestrategian sekä istutustulosten heikentymisen myötä. Vaelluskalakantojen palauttamisen keskeinen edellytys ovat avoimet vaellusyhteydet syönnös- ja lisääntymisalueiden välillä. Potentiaalinen kriittinen vaihe rakennettujen jokien vaelluskalojen elinkierrossa on vaelluspoikasten selviytyminen jokialueelta mereisille syönnösalueille.</p> <p>Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää lohen vaelluspoikasten vaelluskäyttäytymistä sekä patoallas- ja turbiinikuolleisuutta vesivoimatuotantoon rakennetulla lijoella. Lisäksi selvitettiin viljeltyjen ja osittain luonnossa kasvaneiden vaelluspoikasten välisiä eroja vaelluskäyttäytymisessä ja selviytymisessä lijoen rakentamattomalla ja rakennetulla osalla.</p> <p>Tutkimus toteutettiin lijoella radiotelemetriavulla vuosina 2010–2011. Vuonna 2010 vapautettiin 40 viljeltyä radiomerkittyä vaelluspoikasta Maalimaan voimalan yläpuolelta ja vuonna 2011 vapautettiin yhteensä 118 viljeltyä ja 19 luonnossa kasvanutta vaelluspoikasta neljältä eri vapautuspaikalta: Maalimaan voimalan ala- ja yläpuolelta, Haapakosken voimalan yläpuolelta ja Livojoen Kynkäältä (lijoen sivujoki).</p> <p>lijokeen vapautetuista radiolähettimellä merkityistä vaelluspoikasista suurin osa lähti vaeltamaan alavirtaan pian vapautuksen jälkeen. Kuitenkin vain harvat vaelluspoikaset uivat useamman kuin yhden voimalaitoksen läpi ja vaelluspoikasten selviytyminen Iijokisuulle oli heikkoa. Patoallastappiot vaihtelivat välillä 0,7–6,9 %/km, kuolleisuus oli selvästi vähäisintä lijoen rakentamattomalla osuudella. Suora turbiinikuolleisuus vaihteli voimalaitoskohtaisesti 0–17 % välillä.</p> <p>Tutkimustulosten perusteella vaelluspoikasten alasvaelluksen varmistamiseen on syytä kiinnittää huomiota lijoen tulevissa lohikannan palauttamissuunnitelmissa ja -toimenpiteissä. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää myös muissa vaelluskalakantojen palauttamishankkeissa.</p>			
Asiasanat Lohi, smoltti, vaelluskäyttäytyminen, patoallastappio, turbiinikuolleisuus, predaatio, ohitusreitti			
Julkaisun verkko-osoite http://www.rktl.fi/www/uploads/pdf/uudet%20julkaisut/tyoraportit/iijoen_vaelluspoikaset.pdf			
Yhteydenotot Riina Huusko, riina.huusko@rktl.fi			
Muita tietoja Riina Huusko, riina.huusko@rktl.fi			

Sisällys

Kuvailulehti	3
1. Johdanto	5
2. Aineisto ja menetelmät	6
2.1. Vaelluspoikasten merkintä ja vapautus	6
2.2. Vaelluspoikasten seurantajärjestelmä	8
2.3. Aineistojen analysointi	10
2.4. Veden lämpötila ja virtaama	11
2.4.1. Vuosi 2010	11
2.4.2. Vuosi 2011	11
3. Tulokset	13
3.1. Vaelluksen käynnistyminen	13
3.2. Vaelluspoikasten selviytyminen	14
3.2.1. Maalismaan voimalaitoksen yläpuolen vapautuserät vuosina 2010–2011	14
3.2.2. Maalismaan voimalaitoksen ylä- ja alapuolen vapautuserät vuonna 2011	15
3.2.3. Haapakosken voimalaitoksen yläpuolen vapautuserät vuonna 2011	16
3.2.4. Livojoen vapautuserät vuonna 2011	17
3.3. Vaelluspoikasten kuolleisuus	19
3.3.1. Turbiinikuolleisuus	19
3.3.2. Patoallaskuolleisuus	19
3.4. Vaellusnopeus ja vaelluskäyttäytyminen	20
4. Tulosten tarkastelu	22
4.1. Selviytyminen ja vaelluskäyttäytyminen	22
4.2. Vaellusongelmat ja niiden ratkaisumahdollisuudet	25
4.3. Toimenpidetarpeet Iijoella	26
Kiitokset	27
Viitteet	27
Liitteet	30

1. Johdanto

Voimalaitosrakentaminen alkoi lijoella vuonna 1956 ja ensimmäinen voimalaitos valmistui Yli-lin Pahkakoskelle vuonna 1961. Nykyisin lijoen vesistöalueella on yhteensä 11 vesivoimalaitosta, joista merkittävimmät (Raasakka, Maalismaa, Kierikki, Pahkakoski ja Haapakoski) sijoittuvat lijoen pääuoman alajuoksulle noin 54 km matkalle jokisuusta.

Ijoki (valuma-alue 14 191 km²) oli ennen voimalaitosrakentamista yksi maamme merkittävimmistä vaelluskalavesistöistä. Lohi nousi lijoen pääuomassa ainakin Taivalkosken Jokijärvelle saakka ja vesistöissä on arvioitu olleen noin 1 900 hehtaaria lohen kutu- ja poikastuotantoalueita (Laine 2010). Lijoen rakentamisen seurauksena menetetyn luonnontuotannon kompensationsa lijoen vaelluskalakantoja on viimeiset vuosikymmenet hoidettu pääosin laajamittaisten istutusten avulla. Vuosittain lijkisuulle istutetaan mm. 310 000 lohen ja 28 000 taimenen vaelluspoikasta.

Viime vuosina luonnonvaraisten vaelluskalakantojen palauttaminen rakennettuihin jokiin on noussut vahvasti esille EU:n vesipolitiikan ja kansallisen kalatiestrategian sekä istutustulosten heikentymisen myötä. Ijoki on yksi merkittävimmistä vaelluskalojen palauttamiseen soveltuvista rakennetuista joista, sillä vesistöissä on voimakkaasta rakentamisesta huolimatta edelleen jäljellä yli 700 hehtaaria lohikalajien poikastuotantoon soveltuvia virtavesialueita (Laine 2010). Lisäksi lijoen lohikantaa on onnistuttu säilyttämään viljelylaitoksissa.

Luonnonvaraisesti lisääntyvän vaelluskalakannan edellytyksenä on kalojen elinkierron eri vaiheiden menestyksellinen toteutuminen. Yksi vaelluskalakantojen elvytysprosessin kannalta kriittinen elinkierron vaihe on merelle vaeltavien vaelluspoikasten selviytyminen (McCormick ym. 1998). Vaelluspoikasten on alasvaelluksensa aikana selviydyttävä sekä voimalaitosten että laajojen patoaltaiden läpi. Vaelluksen on lisäksi tapahduttava riittävän nopeasti, jotta vaelluspoikaset saapuvat mereen myöhemmän selviytymisensä kannalta optimaaliseen aikaan (mm. lämpötila, ravintovarot). Lijoen osalta lohen vaelluspoikasten vaelluskäyttäytymisestä ja selviytymisestä ei ole ollut käytettävissä ajantasaista tutkimustietoa. Tälle tiedolle on kuitenkin tarvetta, sillä lijoen lohikantojen elvyttämisen prosessi on aktiivisessa vaiheessa ja mm. kalatiesuunnittelu on käynnistynyt.

Lijoen lohen vaelluspoikasten alasvaelluskäyttäytymisen sekä patoallas- ja turbiinikuolleisuuden selvittämiseksi käynnistettiin pilottitutkimus kevätkesällä 2010, jolloin seurattiin 40 viljellyn vaelluspoikasen alasvaellusta Maalismaan voimalaitoksen yläpuolelta Ijokisuulle (noin 22 km). Tutkimus antoi merkittävää tietoa vaelluspoikasten käyttäytymisestä ja selviytymisestä lijoen kahden alimman voimalan ja Raasakan patoaltaan alueella. Hankkeen rajoitetusta mittakaavasta johtuen pilottitutkimus ei kuitenkaan pystynyt täyttämään tietotarpeita koko lijoen rakennetun alajuoksun (Haapakoski-jokisuu) vaikutuksista vaelluspoikasten selviytymiseen ja vaelluskäyttäytymiseen.

Lijoen vaelluspoikasten radiotelemetriaseuranta toistettiin mittakaavaltaan laajempaan kevätkesällä 2011. Tämän laajemman osatutkimuksen tavoitteena oli selvittää lohen vaelluspoikasten vaelluskäyttäytymistä ja selviytymistä koko lijoen rakennetulla alajuoksulla. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin mahdollisia eroja viljeltyjen ja osittain luonnossa kasvaneiden lohen vaelluspoikasten välillä sekä lijoen rakentamattomalla että rakennetulla osalla.

Tässä työraportissa esitellään lijoen vaelluspoikasseurantojen keskeisimmät tulokset vuosilta 2010–2011.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1. Vaelluspoikasten merkintä ja vapautus

Tutkimusta varten merkittiin vuosina 2010–2011 yhteensä 158 Raasakan kalanviljelylaitoksella kasvatettua lohen vaelluspoikasta. Näistä 40 vaelluspoikasta merkittiin vuoden 2010 pilottitutkimuksessa ja loput (118 kpl) vuoden 2011 laajemmassa tutkimuksessa (taulukko 1).

Viljellyt lohen vaelluspoikaset merkittiin molempina vuosina ATS:n (Advanced Telemetry Systems Inc.) valmistamilla sisäisillä radiolähettimillä (2010: malli F1410, paino 1,0 g, toiminta-aika 26 vrk; 2011: malli F1420, paino 1,3 g, toiminta-aika 72 vrk). Nukutetun (puskuroitu MS-222 liuos, 100 mg/l) vaelluspoikasen vatsaan tehtiin vatsa- ja rintaevien välille 13–15 mm pituinen pitkittäisviilto, josta radiolähetin asetettiin kalan vatsaonteloon. Radiolähettimen antennilanka johdettiin kalan ulkopuolelle ohuen injektioneulan avulla. Lähettimen asentamisen jälkeen leikkaushaava ommeltiin kiinni yhdellä tikillä haavan keskikohdasta. Merkintä suoritettiin operointipöydällä merkintäkourussa keskimäärin kahdessa minuutissa. Tämän jälkeen kalojen annettiin toipua noin vuorokauden ajan Raasakan kalanviljelylaitoksen altaissa ennen niiden vapauttamista lijokeen.

Vuoden 2011 tutkimusta varten pyydystettiin lisäksi luonnossa kasvaneita (istutettu joko vasta-kuoriutuneina tai yksivuotiaina) lohen vaelluspoikasia smolttirysällä lijokeen laskevan Livojoen alaosalta (Kyngäs, n. 6 km Livojokisuusta ylävirtaan) aikavälillä 25.5.–10.6.2011 (kuvat 1-2). Tutkimusta varten saatiin pyydystettyä yhteensä 19 lohen vaelluspoikasta (taulukko 1). Rysällä pyydystetyt vaelluspoikaset siirrettiin pyyntipaikalla sumppuun odottamaan merkintää. Vaelluspoikaset merkittiin ATS:n sisäisillä radiolähettimillä (malli F1410, paino, 1,0 g, toiminta-aika 42 vrk) ja merkintä suoritettiin Kynkäällä, maasto-olosuhteissa, vastaavalla tavalla kuin viljeltyjen vaelluspoikasten merkintä kalanviljelylaitoksella. Pyydystettyjen vaelluspoikasten merkintä ja vapautus suoritettiin viimeistään neljäntenä päivänä pyydystyksestä.

Taulukko 1. Radiolähettimillä merkittyjen lohen vaelluspoikasten pituuden ja painon keskiarvot sekä vaihteluvälit tutkimusvuosittain. Taulukossa esitetään lisäksi radiolähettimen ja kalan painon suhteen (tag ratio) keskiarvot ja vaihteluvälit.

Vuosi	Kalojen lkm.	Pituuden ka. (vaihteluväli), mm	Painon ka. (vaihteluväli), g	Tag ratio ka. (vaihteluväli), % ^a
Viljellyt vaelluspoikaset				
2010	40	189 (151–257)	59,3 (26,0–142,0)	1,9 (0,7–3,9)
2011	118	198 (163–283)	63,2 (31,2–189,0)	2,3 (0,7–4,2)
Luonnon vaelluspoikaset				
2011	19	142 (121–167)	21,2 (14,1–37,7)	5,0 (2,7–7,0)

^a Tag ratio = 100 x (merkin paino, g / kalan paino, g)

Telemetriaseurannan keskeiset tutkimusasetelmat olivat:

- Maalismaan voimalaitoksen yläpuolen vapautuserien vertailu vuosina 2010–2011,
- Maalismaan voimalaitoksen ylä- ja alapuolelle vapautettujen erien vertailu vuonna 2011,
- Haapakosken voimalaitoksen yläpuolen vapautuserien vertailu vuonna 2011,
- Livojoelta vapautettujen poikasten vaellus lijoen vapaalla ja rakennetulla jokiosuudella vuonna 2011.

Vuonna 2010 vaelluspoikasia vapautettiin Maalismaan voimalaitoksen yläpuolelle kahdessa 20 yksilön erässä 21. toukokuuta (erä 1 klo 11:00; erä 2 klo 13:30) (kuva 2). Kummankin erän mukana vapautettiin merkittyjen yksilöiden lisäksi noin 200 merkitsemättömän vaelluspoikasen suojaparvi.

Vuonna 2011 vaelluspoikasia vapautettiin neljälle eri vapautuspaikalle 4–20 yksilön erissä aikavälillä 20.5.–7.6.2011 (taulukko 2, kuva 2). Vapautuserissä 3, 4 ja 5 puolet yksilöistä oli viljeltyjä ja puolet Livojoesta pyydystettyjä vaelluspoikasia. Vuonna 2011 radiolähtimellä merkittyjen yksilöiden lisäksi vapautettiin aina suunnilleen saman verran merkitsemättömiä vaelluspoikasia suojaparveksi.

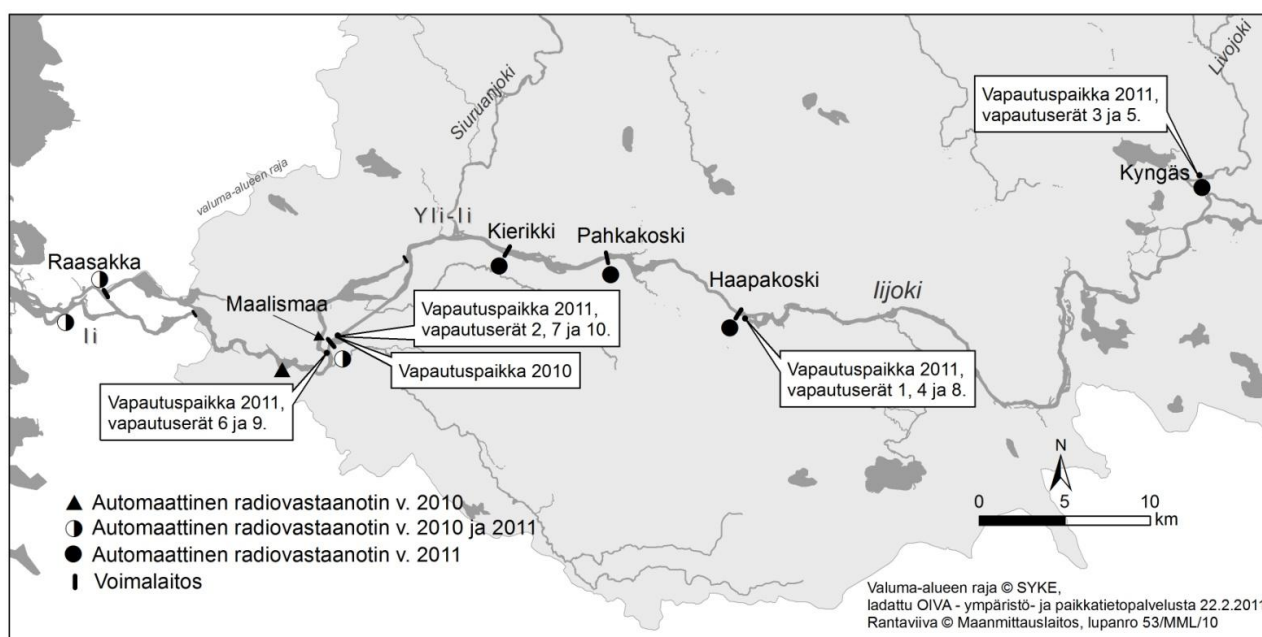
Merkityt vaelluspoikaset siirrettiin vapautuspaikoille henkilöauton peräkärkyssä olevalla hapetulla lasikuitusäiliöllä (tilavuus n. 800 l). Kuljetusmatka Raasakan kalanviljelylaitokselta Maalismaan voimalaitoksen ylä- ja alapuolen vapautuspaikoille oli 20 km ja Haapakosken voimalaitoksen yläpuolen vapautuspaikalle 45 km. Kynkään vapautuspaikalle kalanviljelylaitokselta oli matkaa 85 km ja Kynkäältä Haapakosken voimalaitoksen yläpuolen vapautuspaikalle 60 km.



Kuva 1. Luonnossa kasvaneiden lohien vaelluspoikasten pyynti toteutettiin rysällä Livojoen Kynkäällä 25.5.–10.6.2011. Pyyntiä häittäsi voimakas vedenkorkeuden vaihtelu. Kuva: P. Orell.

Taulukko 2. Vuonna 2011 radiolähettimillä merkittyjen lohen vaelluspoikasten vapautuserät, vapautuserien kalamäärät, vapautuspäivät ja -ajat sekä vapautuspaikat. Erät, joissa poikasista puolet oli viljeltyjä poikasista ja puolet Livojoesta pyydystettyjä luonnossa kasvaneita poikasista on esitetty taulukossa kursiivilla (erät 3, 4 ja 5). Muissa erissä kaikki poikaset olivat viljeltyjä.

Vapautuserä	Kalojen lkm.	Vapautuspvm.	Vapautusaika	Vapautuspaikka
1	20	20.5.2011	14:30	Haapakoski
2	20	20.5.2011	16:05	Maalismaan yläpuoli
3	18	24.5.2011	12:20	<i>Kyngäs</i>
4	16	28.5.2011	13:00	<i>Haapakoski</i>
5	4	1.6.2011	12:00	<i>Kyngäs</i>
6	12	6.6.2011	10:35	Maalismaan alapuoli
7	12	6.6.2011	13:30	Maalismaan yläpuoli
8	19	7.6.2011	11:07	Haapakoski
9	8	7.6.2011	14:40	Maalismaan alapuoli
10	8	7.6.2011	16:30	Maalismaan yläpuoli



Kuva 2. Iijoen valuma-alueen alaosa. Karttaan on merkitty pääuoman viisi vesivoimalaitosta sekä tutkimusvuosien 2010–2011 vaelluspoikasten vapautuspaikat ja automaattisten radiovastaanottimien sijoituspaikat.

2.2. Vaelluspoikasten seurantajärjestelmä

Radiolähettimellä merkittyjen vaelluspoikasten seuranta varten Iijoen alajuoksun voimalaitoksille asennettiin automaattiset radiovastaanottimet (ATS, malli R4500S), jotka vastaanottivat radiosignaalia neljä- tai kuusielementtisten Yagi-antennien kautta. Ensimmäisenä tutkimusvuotena (2010) vastaanottimet sijoitettiin kahdelle alimmalle voimalaitokselle ja lisäksi vastaanottimet sijoitettiin myös Jakkukylälle (6,5 km vapautuspaikasta alavirtaan, kuusielementtinen antenni) ja Iijokisuulle (Iin kirjas-

to, yhdeksänelementtinen antenni)(kuva 2). Automaattiset kuunteluasemat olivat käytössä 21.5.–18.6.2010.

Toisena tutkimusvuotena (2011) automaattiset radiovastaanottimet sijoitettiin kaikille viidelle lijoen alajuoksun voimalaitokselle (kuvat 2-3). Näiden lisäksi asennettiin vastaanottimet lijokisuulle (lin kirjasto, yhdeksänelementtinen antenni) ja Livojoen Kynkäälle (kuusielementtinen antenni) (kuva 2). Kynkään automaattinen kuunteluasema oli käytössä 24.5.–11.6.2011. Muilla paikoilla seurantaa jatkettiin heinäkuun 20. päivään asti.



Kuva 3. Radiolähettimellä merkittyjen lohen vaelluspoikasten seurantaa varten lijoen alajuoksun voimalaitoksille asennettiin automaattisia radiovastaanottimia antenneineen. Kuvassa Haapakosken voimalaitoksen alavirran puoleinen antenni. Kuva: P. Orell.

Antennin kuuluvuusalueella uivien kalojen yksilöllinen lähetinsignaali ja ajankohta tallentuivat vastaanottimen muistiin, mistä tiedot siirrettiin tietokoneelle. Voimaloille asennettujen antennien kuuluvuusalue ulottui 200–250 m voimalasta alavirtaan. Vuonna 2011 kolmelle voimalaitokselle (Haapakoski, Maalismaa ja Raasakka) asennettiin myös toinen antenni, jonka kuuluvuusalue ulottui 200–250 m voimalaitoksesta ylävirtaan. Ylävirtaan suunnattujen antennien avulla pyrittiin selvittämään lohen vaelluspoikasten käyttäytymistä niiden läheisyydessä voimalaitoksia.

Automaattisten radiovastaanottimien lisäksi radiolähettimillä merkittyjä vaelluspoikasia seurattiin vapautusten jälkeen 1-3 kertaa viikossa manuaalisesti kannettavan radiovastaanottimen (ATS, malli R4000) avulla. Pilottitutkimuksen (2010) aikana manuaalinen seuranta toteutettiin rannalta käsiantennilla voimalaitosten välittömästä läheisyydestä sekä kauempana auton katolle asennetun kuusielementtisen antennin avulla. Lisäksi suoritettiin tarkempia paikannuksia veneestä Maalismaan

voimalan yläpuolisella alueella (n=2) sekä Maalimaan ja Raasakan voimalaitosten välisellä jokialueella (n=4). Veneseuranta suoritettiin kertaalleen myös Raasakan voimalaitoksen alapuolella.

Toisena tutkimusvuonna (2011) manuaalinen seuranta toteutettiin pääasiassa veneellä mahdollisimman tarkkojen paikannushavaintojen saamiseksi. Veneseuranta suoritettiin Haapakosken ja Pahkakosken voimaloiden välisellä (n=9) sekä Maalimaan ja Raasakan voimaloiden välisellä (n=11) jokialueella, Haapakosken voimalan yläpuolisella alueella (n=3, n. 3 km matkalla Haapakosken voimalasta ylävirtaan) ja kahdesti 10 km matkalla Haapakosken voimalasta ylävirtaan. Lisäksi veneseuranta suoritettiin kertaalleen Livojoen Kynkään ja lijoen Kipinän välisellä jokialueella ja kahdesti Raasakan voimalaitoksen alapuolella. Manuaalisia paikannuksia tehtiin myös rannalta voimalaitosten lähialueella.

2.3. Aineistojen analysointi

Automaattisten radiovastaanottimien ja manuaalisten seurantatietojen perusteella määritettiin predaation aiheuttama kuolleisuus patoaltailla kilometriä kohden, patoallastappio (M_{pred} , %/km), kaavan (1) mukaisesti (Annala 2008).

$$M_{pred} = (S_{pred} / S_{tot} \times 100 \%) / L, \quad (1)$$

missä S_{pred} on predaation kohteeksi joutuneiden vaelluspoikasten lukumäärä patoaltaalla, S_{tot} on patoaltaassa vaeltaneiden vaelluspoikasten lukumäärä ja L on patoaltaan pituus (km). Patoallastappio määritettiin kaikille voimaloiden välisille patoaltaille sekä Kynkään vapautuspaikan ja Haapakosken voimalan väliselle vapaalle jokiosuudelle.

Voimalaitosten aiheuttama turbiinikuolleisuus (M_{turb} , %) laskettiin kaavalla (2).

$$M_{turb} = S_m / S_{tot2} \times 100 \%, \quad (2)$$

missä S_m on turbiinissa kuolleiden vaelluspoikasten lukumäärä ja S_{tot2} on voimalan läpi uineiden vaelluspoikasten lukumäärä (Annala 2008). Turbiinikuolleisuus laskettiin kaikille viidelle lijoen pääuoman voimalalle erikseen.

Radiolähettimellä merkittyjen vaelluspoikasten vaellusnopeus (V , km/vrk) eri patoaltailla sekä Kynkään vapautuspaikan ja Haapakosken voimalaitoksen välillä laskettiin yksilöittäin kaavalla (3).

$$V = A \times L / 24 \text{ h}, \quad (3)$$

missä A on vaellusaika (h) patoaltaalla ja L on patoaltaan pituus (km).

2.4. Veden lämpötila ja virtaama

2.4.1. Vuosi 2010

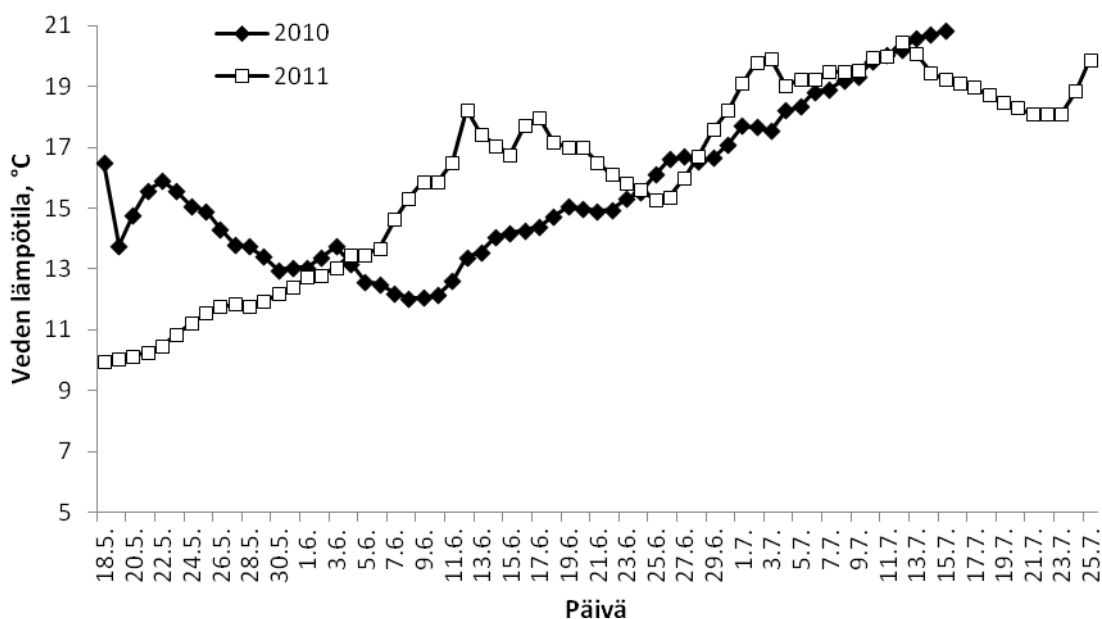
Vaelluspoikasten vapautusajankohtana toukokuun 21. päivänä lijoen veden lämpötila oli poikkeuksellisen lämpimän kevään seurauksena jo lähes 16-asteista (kuva 4). Vapautuksen jälkeisenä päivänä veden lämpötila kuitenkin laski 8. kesäkuuta asti, minkä jälkeen vesi alkoi taas lämmetä.

Virtaama oli Raasakassa vapautusajankohtana noin 390 m³/s, minkä jälkeen virtaama pieneni melko tasaisesti seurannan aikana (kuva 5). Maalismaalla virtaama oli seurannan alussa alhaisempi, n. 250 m³/s. Seurannan lopussa (18.6.) virtaama oli kummallakin voimalaitoksella noin 120 m³/s. Virtaamatietojen mukaan Maalismaan voimalaitoksessa ohijuoksutusta oli aina 8. kesäkuuta saakka, mutta Raasakassa ohijuoksutus loppui jo vapautuspäivänä (21.5.). Havainnot jokialueelta kuitenkin osoittivat Raasakan ohijuoksutusten jatkuneen vielä muutamia päiviä vaelluspoikasten vapautuksen jälkeenkin.

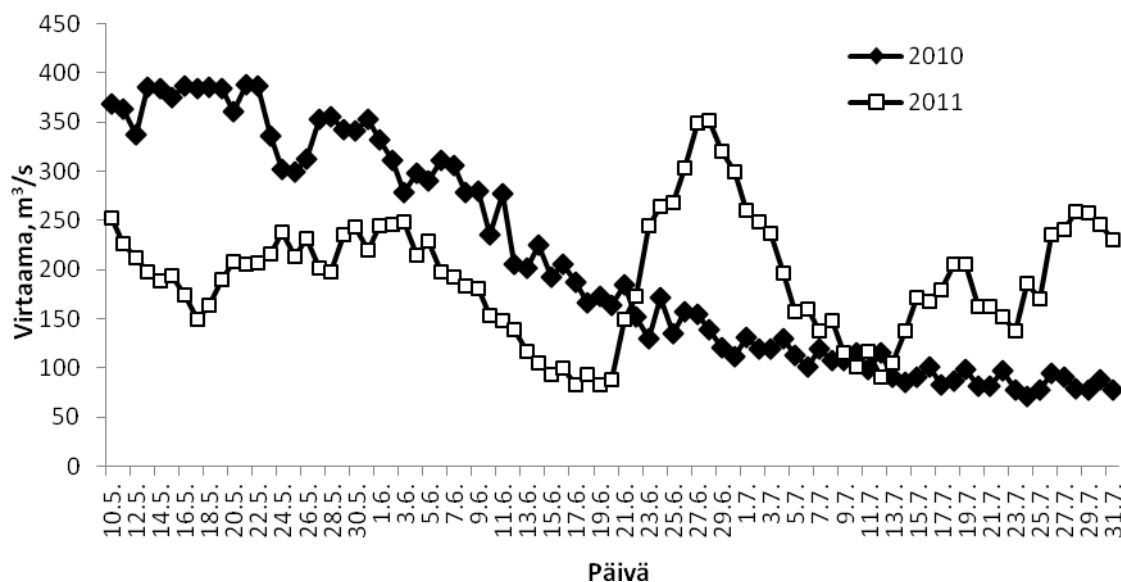
2.4.2. Vuosi 2011

lijoen veden lämpötila oli ensimmäisenä vapautuspäivänä (20.5.) vajaa 11-asteista ja viimeisenä vapautuspäivänä kesäkuun 7. päivä noin 15-asteista (kuva 4). Veden lämpötila kasvoi melko tasaisesti seurannan aikana, mutta laski väliaikaisesti kesäkuun lopulla sateiden seurauksena (kuva 4).

lijoen virtaama oli vuonna 2011 alhaisempi kuin edellisenä vuonna (kuva 5). Virtaama ensimmäisenä vapautuspäivänä (20.5.) Raasakassa oli noin 200 m³/s (kuva 5). Maalismaan virtaama oli ensimmäisenä vapautuspäivänä samaa luokkaa, mutta muilla voimalaitoksilla virtaama oli vain noin 140 m³/s. Virtaamien vuorokausikeskiarvoissa oli suurta vaihtelua seurannan aikana (kuva 5). Osalla voimalaitoksista oli ohijuoksutusta kesäkuun lopulla ja heinäkuun puolenvälin jälkeen runsaiden sateiden seurauksena.



Kuva 4. Vuorokausittaiset veden keskilämpötilat (°C) lijoen pääuomassa kevään ja kesän aikana vuosina 2010–2011. Lohen vaelluspoikasten seuranta-ajat: 21.5.–18.6.2010 ja 20.5.–20.7.2011.



Kuva 5. lijoen vuorokausittaiset keskivirtaamat (m³/s) Raasakan voimalan kohdalta mitattuna toukoheinäkuussa 2010–2011. Lohen vaelluspoikasten seuranta-ajat: 21.5.–18.6.2010 ja 20.5.–20.7.2011. Virtaamatiiedot: PVO-Vesivoima Oy.

3. Tulokset

3.1. Vaelluksen käynnistyminen

Kaikki tutkimuksessa vapautetut vaelluspoikaset eivät lähteneet seurannan aikana vaeltamaan alavirtaan. Vaellukselle lähtemättömiksi luokiteltiin poikaset, jotka liikkuivat seurannan aikana alle kilometrin vapautuspaikasta alavirtaan, eivätkä vaeltaneet alas ensimmäisestä vapautuspaikan alapuolisesta voimalaitoksesta. Merkittävä osa vaellukselle lähtemättömistä vaelluspoikasista jäi todennäköisesti petokalojen saaliiksi pian vapautuksen jälkeen.

Vuonna 2010 Maalismaan voimalan yläpuolelle vapautuista radiolähettimillä merkityistä vaelluspoikasta yhteensä 17,5 % ei lähtenyt vaellukselle. Vapautuserien välillä ei havaittu merkittäviä eroja Maalismaan voimalan yläpuolelle jääneiden vaelluspoikasten määrissä (taulukko 3). Toisena tutkimusvuonna (2011) samaan paikkaan vapautetuista vaelluspoikasista huomattavasti suurempi osuus, yhteensä 30,0 %, ei lähtenyt vaellukselle. Vapautuserien välillä oli edellisestä vuodesta poiketen merkittäviä eroja Maalismaan voimalan yläpuolelle jääneiden vaelluspoikasten määrissä (taulukko 3).

Maalismaan voimalan alapuolelle (2011) vapautetuista vaelluspoikasista yhteensä 10,0 % (2/20) ei lähtenyt vaeltamaan alavirtaan. Vapautuspaikan lähelle jääneet poikaset olivat kumpikin vapautuserästä 9.

Haapakosken voimalan yläpuolelle (2011) vapautetuista merkityistä vaelluspoikasista yhteensä 38,1 % (21/55) ei lähtenyt vaellukselle. Vapautuserien välillä oli eroja Haapakosken yläpuolelle jääneiden vaelluspoikasten määrissä. Vain viljeltyjä vaelluspoikasista sisältävissä vapautuserissä vaellukselle lähtemättömien osuus oli samansuuruista, mutta erän 4 viljellyistä vaelluspoikasista huomattavasti suurempi osuus jäi Haapakosken voimalan yläpuolelle (taulukko 4). Erän 4 luonnossa kasvaneet vaelluspoikaset puolestaan lähtivät vaellukselle viljeltyjä vaelluspoikasista aktiivisemmin (taulukko 4).

Livojoelle (2011) vapautetuista vaelluspoikasista vain 9,1 % (2/22) jäi vapautuspaikan lähistölle. Vaellukselle lähtemättömistä poikasista toinen oli viljelty ja toinen luonnossa kasvanut. Vapautuserien välisiä mahdollisia eroja ei vertailtu toisen erän pienestä yksilömäärästä johtuen (n=4).

Taulukko 3. Maalismaan voimalan yläpuolelle vuosina 2010–2011 vapautettujen radiolähettimellä merkittyjen lohen vaelluspoikasten eräkohtaiset yksilömäärät ja vapautuspäivät sekä vaellukselle lähtemättömien yksilömäärät ja prosenttiosuudet.

Erä	Kalojen lkm.	Vapautus pvm.	Maalismaan yläpuolelle jääneet	
			Kalojen lkm.	%-osuus
1	20	21.5.2010	3	15,0
2	20	21.5.2010	4	20,0
2	20	20.5.2011	1	5,0
7	12	6.6.2011	8	66,7
10	8	7.6.2011	3	37,5

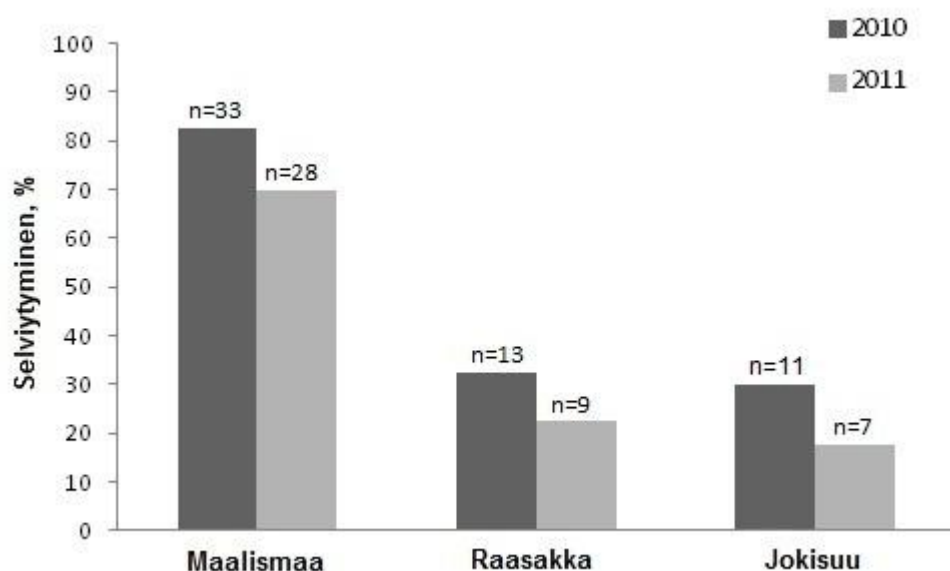
Taulukko 4. Haapakosken voimalaitoksen yläpuolelle vuonna 2011 vapautettujen radiolähtimellä merkittyjen lohen vaelluspoikasten yksilömäärät erä- ja alkuperäkohtaisesti sekä vaellukselle lähtemättömien yksilömäärät ja prosenttiosuudet.

Erä	Vapautuserät		Haapakosken yläpuolelle jääneet	
	Alkuperä	Kalojen lkm.	Kalojen lkm.	%-osuus
1	Viljelty	20	7	35,0
8	Viljelty	19	7	36,8
4	Viljelty	8	6	75,0
4	Villi	8	1	12,5

3.2. Vaelluspoikasten selviytyminen

3.2.1. Maalismaan voimalaitoksen yläpuolen vapautuserät vuosina 2010–2011

Maalismaan voimalan yläpuolelle vapautettujen vaelluspoikasten selviytyminen jokisuulle oli parempaa vuonna 2010 kuin vuonna 2011 (kuva 6). Vaellukselle lähteneiden, eli Maalismaan voimalan läpi uineiden, poikasten selviytyminen jokisuulle oli ensimmäisenä tutkimusvuotena 33,3 % (11/33) ja toisena vuotena 25,0 % (7/28). Vaelluspoikaset vaelsivat jokisuulle yhtä poikasta lukuun ottamatta Raasakan voimalaitoksen läpi. Yksi vuonna 2010 lijkisuulle selviytynyt vaelluspoikanen vaelsi jokisuulle lijoen vanhan jokiuoman säännöstelypadon kautta.



Kuva 6. Maalismaan voimalan yläpuolelle vuosina 2010–2011 vapautettujen radiolähtimellä merkittyjen lohen vaelluspoikasten selviytyminen vapautuspaikalta Maalismaan voimalan alapuolelle (0,5 km alavirtaan), Raasakan voimalan alapuolelle (19 km alavirtaan) ja jokisuulle (lin kirjasto, 22 km alavirtaan). Selviytyminen on laskettu kaikista tutkimusvuotena vapautetuista vaelluspoikasista (n=40/vuosi).

Vaelluspoikasten selviytymisessä automaattisille seurantapaikoille ja lijkisuulle ei vuonna 2010 havaittu merkittäviä eroja vapautuserien välillä, mutta vuonna 2011 erot vapautuserien välillä olivat

huomattavia (taulukko 5). Vapautuserien väliset erot olivat merkittäviä jo vaellukselle lähdössä eli Maalismaan voimalan läpäisyyssä (taulukko 5), mikä osaltaan selittää eroja selviytymisessä myös Maalismaan voimalan alapuolisille seurantapaikoille. Jos selviytymistä tarkastellaan vain vaellukselle lähteneiden poikasten osalta, niin selviytyminen Maalismaan voimalan alapuolisille seurantapaikoille oli huomattavasti parempaa (ks. liite 1).

Taulukko 5. Maalismaan voimalan yläpuolelle vuosina 2010–2011 vapautettujen radiolähettimellä merkittyjen lohen vaelluspoikasten selviytyminen (%) vapautuspaikalta automaattisille kuunteluasemille vapautuserittäin. Selviytymien on laskettu kaikista erässä vapautetuista vaelluspoikasista.

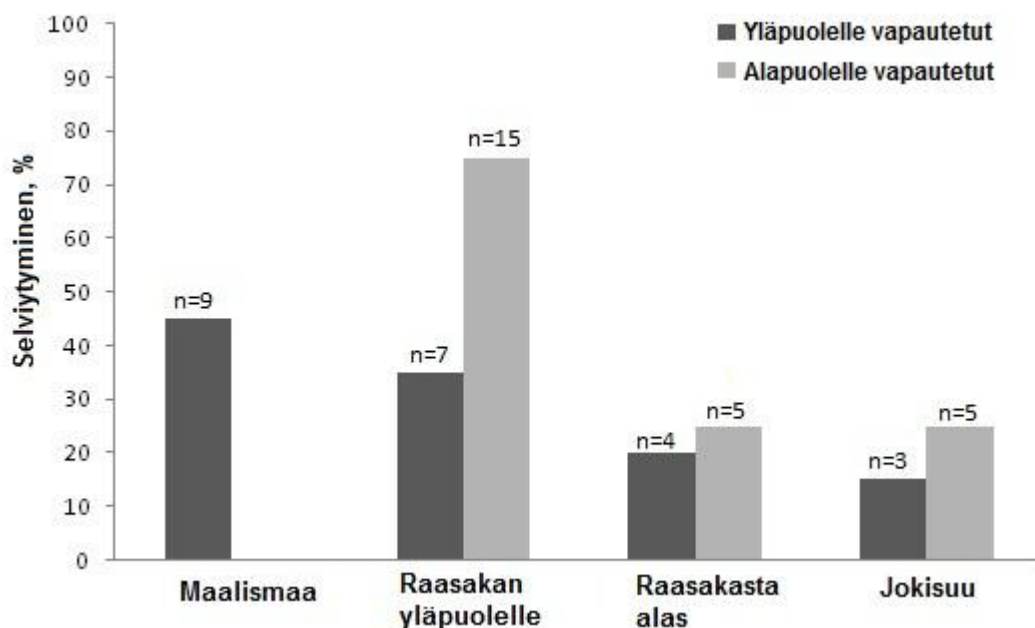
Vapautuserä	Kalojen lkm.	Vuosi	Selviytyminen, %				
			Maalismaa	Jakkukylä	Raasakan yläpuolelle	Raasakka	Jokisuu
1	20	2010	80,0	70,0	65,0	35,0	25,0
2	20	2010	85,0	80,0	70,0	25,0	30,0*
2	20	2011	95,0	-	40,0	25,0	20,0
7	12	2011	33,3	-	16,7	8,3	8,3
10	8	2011	62,5	-	62,5	37,5	25,0

*yksi vaelluspoikanen vaelsi jokisuulle lijoen vanhan jokiuoman kautta

3.2.2. Maalismaan voimalaitoksen ylä- ja alapuolen vapautuserät vuonna 2011

Maalismaan voimalan ylä- ja alapuolelle 6.–7.6.2011 vapautettujen vaelluspoikasten selviytyminen Raasakan voimalaitospadon yläpuolelle ja jokisuulle erosi vapautuspaikkojen välillä. Maalismaan voimalan yläpuolelle vapautettujen erien selviytyminen oli heikompaa kuin samana ajankohtana Maalismaan voimalaitoksen alakanavan suulle vapautettujen vaelluspoikasten (kuva 7). Maalismaan voimalan yläpuolen vapautuserien huonoa selviytymistä selittää osaltaan heikko vaellusaktiivisuus Maalismaan voimalan läpi, sillä vertailtaessa vain vaellukselle lähteneiden vaelluspoikasten selviytymistä, ei vapautuspaikkojen välillä ollut merkittäviä eroja vaelluspoikasten selviytymisessä Raasakan tai jokisuulle (ks. liite 2).

Peräkkäisinä päivinä vapautettujen erien selviytyminen oli erilaista Maalismaan voimalan ylä- ja alapuolelle vapautetuilla vaelluspoikasilla (taulukko 6). Maalismaan voimalan yläpuolelle vapautetuista heikommin selviytyivät aikaisemman vapautuserän poikaset kun puolestaan Maalismaan voimalan alapuolen vapautuseristä heikommin jokisuulle selviytyivät myöhemmän vapautuserän poikaset (taulukko 6).



Kuva 7. Maalismaan voimalan ylä- ja alapuolelle 6.–7.6.2011 vapautettujen vaelluspoikasten selviytyminen Maalismaasta alas (0,5 km alavirtaan), Raasakan voimalaitospadon yläpuolelle (18,5 km tai 17 km alavirtaan), Raasakan voimalan alapuolelle (19 km tai 17,5 km alavirtaan) ja jokisuulle (lin kirjasto, 22 km tai 21 km alavirtaan). Selviytyminen on laskettu kaikista vapautuspaikalle 6.–7.6.2011 vapautetuista vaelluspoikasista (n=20/vapautuspaikka).

Taulukko 6. Maalismaan voimalan ylä- ja alapuolelle 6.–7.6.2011 vapautettujen radiolähettimeillä merkittyjen lohen vaelluspoikasten selviytyminen (%) vapautuspaikalta automaattisille kuunteluasemille vapautuserittäin. Selviytyminen on laskettu kaikista erässä vapautetuista vaelluspoikasista. Vapautuspaikka 1=Maalismaan voimalan yläpuolelle, 2=Maalismaan voimalan alapuolelle.

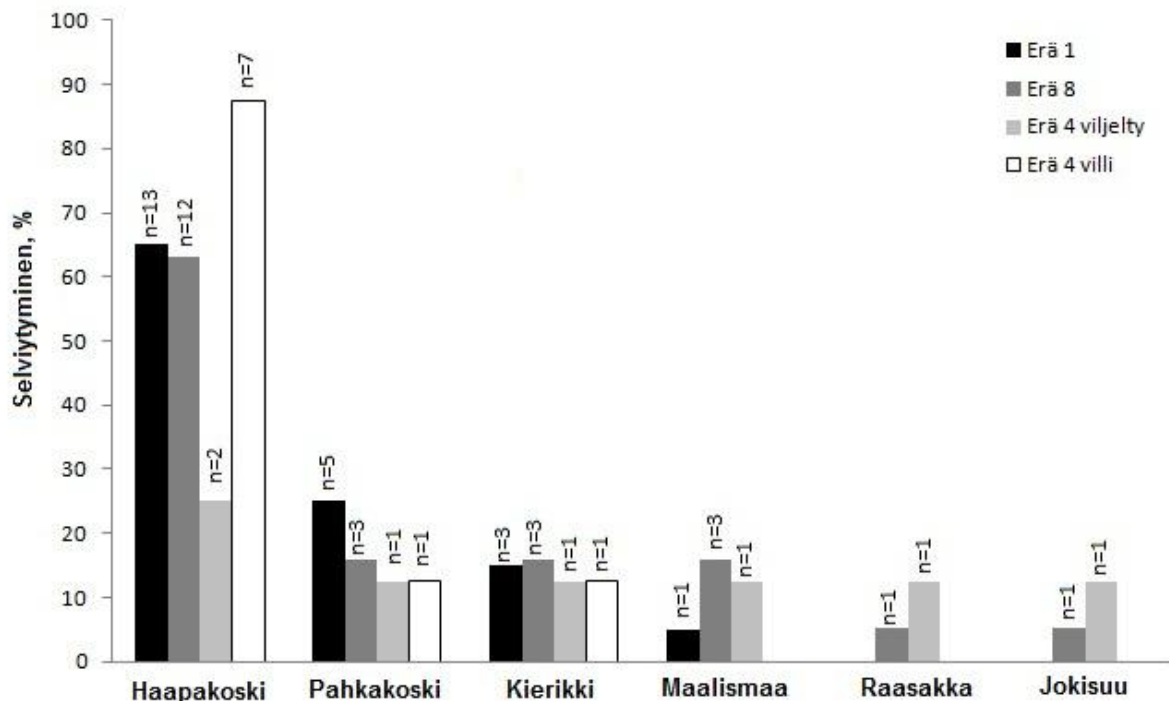
Vapautuserä	Kalojen lkm.	Vapautuspaikka	Selviytyminen, %		
			Raasakan yläpuolelle	Raasakan alapuolelle	Jokisuulle
7	12	1	16,7	8,3	8,3
10	8	1	62,5	37,5	25,0
6	12	2	91,7	41,7	41,7
9	8	2	50,0	0,0	0,0

3.2.3. Haapakosken voimalaitoksen yläpuolen vapautuserät vuonna 2011

Haapakosken voimalan yläpuolelle vapautetuista vaelluspoikasista yhteensä 3,6 % (2/55) selviytyi jokisuulle saakka. Vain viljeltyjä vaelluspoikasista sisältävien vapautuserien (erät 1 ja 8) välillä ei selviytymisessä ollut selviä eroja, mutta myöhemmin vapautetusta erästä useampi poikanen selviytyi Maalismaan voimalaitoksen alapuolelle saakka (kuva 8).

Haapakosken voimalan yläpuolelle vapautettujen luonnossa kasvaneiden (villi) vaelluspoikasten selviytyminen Haapakosken voimalasta alas oli huomattavasti parempaa kuin saman erän (erä 4) viljeltyjen vaelluspoikasten (kuva 8). Kyseisen erän viljeltyjen vaelluspoikasten selviytyminen ensimmä-

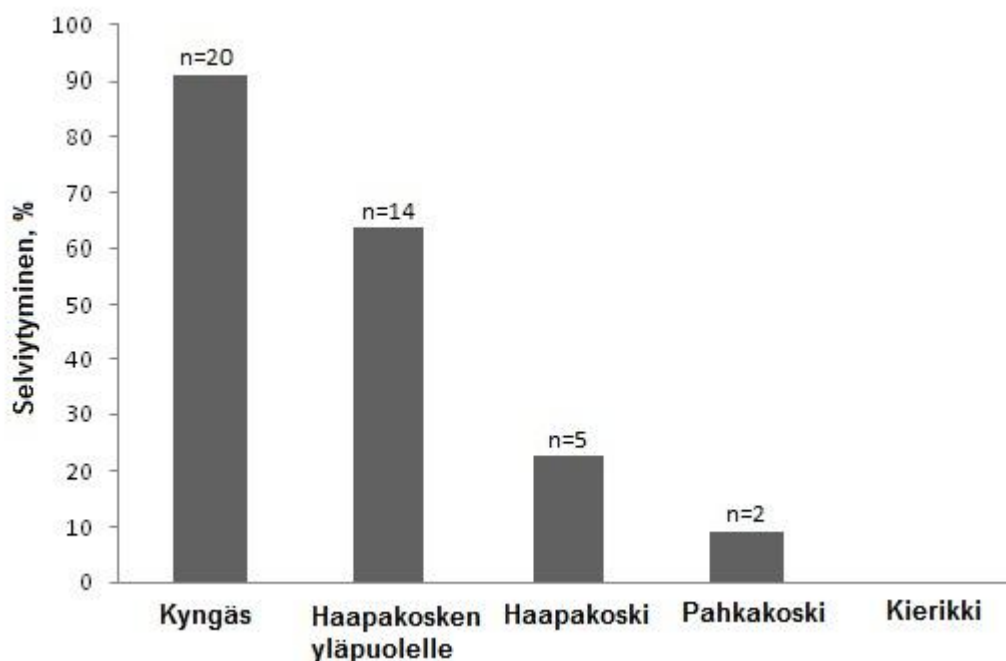
mäisen voimalan alapuolelle oli erittäin heikkoa (25 %) verrattuna myös muihin Haapakosken voimalan yläpuolen vapautuseriin.



Kuva 8. Haapakosken voimalan yläpuolelle vuonna 2011 vapautettujen radiolähettimellä merkittyjen lohen vaelluspoikasten selviytyminen (%) vapautuspaikalta Haapakosken voimalan alapuolelle (0,5 km alavirtaan), Pahkakosken voimalan alapuolelle (9,5 km alavirtaan), Kierikin voimalan alapuolelle (15,5 km alavirtaan), Maalismaan voimalan alapuolelle (29,6 km alavirtaan), Raasakan voimalan alapuolelle (47,9 km alavirtaan) ja jokisuuille (lin kirjasto, 51 km alavirtaan). Selviytyminen on laskettu kaikista erässä vapautetuista vaelluspoikasista (erä 1: n=20, erä 8: n=19 ja erä 4: n=8/alkuperä).

3.2.4. Livojoen vapautuserät vuonna 2011

Livojokeen vapautetuista vaelluspoikasista 90,9 % (20/22) lähti vaeltamaan alavirtaan pian vapautuksen jälkeen ja suurin osa (63,6 % kaikista ja 70,0 % vaeltamaan lähteneistä) selviytyi reilun 50 km matkan Haapakosken voimalan yläpuolelle (kuva 9). Haapakosken voimalasta alas vaelsi enää vain neljännes vaelluspoikasista, eikä yksikään näistä vaeltanut enää Kierikin voimalan alapuoliselle jokialueelle (kuva 9).



Kuva 9. Livojoen Kynkääseen vuonna 2011 vapautettujen radiolähettimellä merkittyjen lohen vaelluspoikasten selviytyminen vapautuspaikalta Kynkään automaattiselle vastaanottimelle (3,5 km alavirtaan), Haapakosken voimalan yläpuolelle (50,0 km), Haapakosken voimalan alapuolelle (50,5 km), Pahkakosken voimalan alapuolelle (60,0 km) ja Kierikin voimalan alapuolelle (75,5 km). Selviytyminen on laskettu kaikista Kynkääle vapautetuista vaelluspoikasista (n=22).

Vaelluspoikasten alkuperän vaikutusta vaelluspoikasten selviytymiseen arvioitiin Livojoelle vapautettujen ja yhden Haapakosken yläpuolelle vapautetun erän perusteella. Vapautettujen vaelluspoikasten alkuperällä ei ollut vaikutusta selviytymiseen lijoen vapaalla osuudella Livojoen vapautuspaikalta Haapakosken voimalaitoksen yläpuolelle (7/11 luonnossa kasvanutta ja 7/11 viljeltyä).

Haapakosken voimalaitoksen läpäisyssä kuitenkin havaittiin selvä ero eri alkuperää olevilla vaelluspoikasilla (taulukko 7). Alkuperän vaikutus ensimmäisen voimalaitoksen läpäisyyn oli samanlainen sekä Livojoelle että Haapakosken yläpuolelle vapautetuilla poikasilla. Luonnossa kasvaneiden vaelluspoikasten selviytyminen ensimmäisestä voimalaitoksesta oli yli kolme kertaa parempaa kuin viljeltyjen (taulukko 7). Haapakosken voimalan alapuolelle laskeutuneiden vaelluspoikasten selviytyminen oli kuitenkin jatkossa heikkoa ja seuraavista voimalaitoksista alas selviytyi enää yksittäisiä vaelluspoikasista.

Taulukko 7. Livojoesta pyydystettyjen (villi) ja viljeltyjen lohen vaelluspoikasten selviytyminen Haapakosken voimalaitoksen alapuolelle vapautuspaikoittain vuonna 2011. Livojoen Kynkääle vapautettujen vaelluspoikasten selviytyminen on laskettu Haapakosken yläpuolelle saapuneista vaelluspoikasista.

Vapautuspaikka	Villi		Viljelty	
	Selviytyminen, %	Alasvaeltaneet, lkm.	Selviytyminen, %	Alasvaeltaneet, lkm.
Kyngäs	57,1	4	14,3	1
Haapakoski	87,5	7	25,0	2

3.3. Vaelluspoikasten kuolleisuus

3.3.1. Turbiinikuolleisuus

Merkittyjen vaelluspoikasten selviytymisessä voimalaitosten läpi oli eroja sekä vuosien että voimalaitosten välillä. Turbiinikuolleisuuden määrittämisessä kuolleiksi tulkittiin poikaset, jotka jäivät liikkumattomiksi voimalaitoksien alakanaviin laitosten lähistölle. Kuolleisuuden aiheuttivat joko voimalaitosten turbiinit tai välittömästi voimalan alapuolella tapahtunut saalistus.

Haapakosken voimalaitosten aiheuttaman turbiinikuolleisuuden arvioitiin olleen 10,3 % (4/39). Pahkakosken (n=12) ja Kierikin (n=8) voimalaitoksilla yhdenkään poikasen ei todettu kuolleen välittömästi voimalaitosten alapuolelle.

Maalismaan voimalaitoksella turbiinikuolleisuus erosi vuosien välillä. Vuoden 2010 seurannan aikana voimalaitoksen turbiinikuolleisuus oli 6,0 % (2/33), kun seuraavana vuonna kuolleisuus oli kaksinkertainen, 13,3 % (5/33). Raasakan voimalaitoksella turbiinikuolleisuus oli molempina tutkimusvuosina samaa suuruusluokkaa (2010: 16,7 %; 2011: 12,5 %).

3.3.2. Patoallaskuolleisuus

Tutkimuksessa patoallaskuolleisuuden määrittämisessä käytettiin voimalaitosten välisillä patoaltailla tai voimalaitosten yläkanavissa predaation kohteiksi joutuneita tai muista syistä kuolleita vaelluspoikasia. Patoallaskuolleisuuteen ei siten sisällytetty poikasia, jotka kuolivat välittömästi voimalaitosten alapuolelle (=turbiinikuolleisuus) tai vaelluspoikasia, jotka eivät lähteneet vaellukselle (=vaellukselle lähtemättömät). Kuolleiksi tulkittiin vaelluspoikaset, jotka olivat vielä seurannan lopussa tutkimusalueella. Määritetty patoallaskuolleisuus onkin siten maksimikuolleisuus patoaltailla, sillä joku vaelluspoikasista on voinut olla vielä elossa seurannan päättyessä. Vuonna 2010 käytettyjen lähettimien toiminta-aika oli lyhyempi (n. 26 vrk) ja osa Raasakan voimalaitospadon yläpuolella olleista poikasista on voinut vielä seurannan jälkeen jatkaa vaellustaan merelle.

Patoallaskohtaisissa tappioissa havaittiin suuria eroja patoaltaiden ja lijoen vapaan jokiosuuden välillä (taulukko 8). Maalismaan ja Raasakan voimalaitosten välillä patoallastappiot olivat peräkkäisinä tutkimusvuosina samansuuruisia (taulukko 8), joskin vuonna 2010 suurin osa näistä patoallastappioista tapahtui vasta aivan Raasakan voimalan yläpuolella, kun vuonna 2011 vaelluspoikasia kuoli huomattavasti enemmän jo ennen Raasakan laitoksen yläkanavaa.

Vaellustappiot (=patoallastappiot) olivat selvästi pienimmät (0,7 %/km) lijoen vapaalla jokiosuudella, kun rakennetun osan patoaltailla vaellustappiot vaihtelivat 2,7–6,9 %/km (taulukko 8). Patoaltailla kuolleisuus oli selvästi suurinta voimalaitospatojen yläpuolella. Esimerkiksi Haapakosken voimalan yläpuolisella n. 15 km säännöstelyalueella vaellustappiot keskittyivät n. 2 km matkalle padosta ylävirtaan.

Taulukko 8. Radolähtimellä merkittyjen lohen vaelluspoikasten kuolleisuus Iijoen patoaltailla kilometriä kohden (M_{pred}) vuosina 2010–2011. Vapaan jokiosuuden vaellustappio on laskettu Kynkään vapautuspaikalta Haapakosken padon vaikutusalueen ylärajalle (n. 36 km). Haapakosken säännöstely vaikutusalue ulottuu maksimissaan 15 km Haapakosken voimalalta ylävirtaan.

Patoallas	2010		2011	
	Kuolleet/ Vaeltaneet	M_{pred} , %/km	Kuolleet/ Vaeltaneet	M_{pred} , %/km
Vapaa jokiosuus			5/20	0,7
Haapakosken säännöstelyalue			10/15	4,4
Haapakoski-Pahkakoski			23/35	6,9
Pahkakoski-Kierikki			4/12	5,6
Kierikki-Maalismaa			3/8	2,8
Maalismaa-Raasakka	17/31	3,0	22/46	2,7

3.4. Vaellusnopeus ja vaelluskäyttäytyminen

Jokisuulle selviytyneiden vaelluspoikasten vaellusnopeus Maalismaan voimalan yläpuoliselta vapautuspaikalta Raasakan voimalaitokselle oli vuonna 2010 keskimäärin nopeampaa kuin Raasakan voimalan yläpuolelle jääneiden vaellusnopeus. Jokisuulle asti selviytyneet vaelluspoikaset vaelsivat puolet nopeammin Maalismaasta Raasakan voimalaitokselle (taulukko 9). Vuonna 2011 jokisuulle selviytyneiden ja Raasakan voimalan yläpuolelle jääneiden vaelluspoikasten vaellusnopeudessa ei havaittu vastaavansuuruista eroa, mutta jokisuulle selviytyneet uivat kuitenkin keskimäärin hieman nopeammin Raasakkaan (taulukko 9). Lisäksi useimmat Iijokisuulle selviytyneistä vaelluspoikasista uivat Raasakan voimalan läpi pian sen yläpuolelle saapumisen jälkeen. Tulosten perusteella vaikuttaisikin siltä, että nopeasti vaeltavat kalayksilöt selviytyivät keskimäärin paremmin jokisuulle asti.

Taulukko 9. Jokisuulle selviytyneiden ja Raasakan voimalaitoksen yläpuolelle jääneiden radiolähtimellä merkittyjen lohen vaelluspoikasten vaellusnopeudet (km/vrk) vapautuspaikalta Raasakan voimalaitokselle (vapautuspaikat: 1= Maalismaan voimalan yläpuolelle, 2= Maalismaan voimalan alapuolelle) vuosina 2010–2011. Taulukossa esitetään vaellusnopeuden keskiarvo ja vaihteluväli sekä yksilömäärä, joiden perusteella keskiarvo on laskettu.

Vuosi	Vapautus- paikka	Jokisuulle selviytyneet		Raasakan yläpuolelle jääneet	
		ka. (vaihteluväli), km/vrk	kalojen lkm.	ka. (vaihteluväli), km/vrk	kalojen lkm.
2010	1	20,8 (5,9–48,0)	10	8,9 (1,0–16,3)	15
2011	1	18,3 (3,9–55,0)	7	16,5 (6,4–24,1)	6
2011	2	39,5 (14,4–70,6)	5	32,5 (8,1–59,0)	10

Maalismaan voimalan yläpuolen vapautuserien vaellusnopeudet erosivat myös toisistaan. Vuonna 2010 toisen vapautuserän poikasten vaellus oli keskimäärin hieman nopeampaa kuin ensimmäisen erän (taulukko 10). Vuonna 2011 Maalismaan voimalan yläpuolelle vapautetuista vaelluspoikasista selvästi nopeimmin Raasakan voimalaitoksen yläpuolelle vaelsivat vapautuserän 7 vaelluspoikaset

(taulukko 10). Maalimaan voimalan alapuolelle vapautettujen vaelluspoikasten vaellusnopeus (34,8 km/vrk, n=15) Raasakkaan oli keskimäärin selvästi nopeampaa kuin samoina päivinä Maalimaan voimalan yläpuolelle vapautettujen (20,2 km/vrk, n=7).

Raasakan voimalaitospadon yläpuolelle paikannetuista vaelluspoikasista yksitoista (33,3 %) paikannettiin myöhemmin 1,5–6 kilometriä Raasakan padolta ylävirtaan vuonna 2011. Näistä suurin osa (72,7 %, 8/11) ei enää palannut takaisin Raasakan voimalaitoksen yläpuolelle, vaan ne jäivät todennäköisesti petokalojen saaliiksi lähdettyään ylävirtaan tai merkit siirtyivät ylävirtaan petojen mukana. Kolme vaelluspoikasta kuitenkin palasi takaisin Raasakan voimalaitokselle ja kaksi näistä vaelsi myöhemmin voimalan alapuolelle. Myös vuoden 2010 seurannassa havaittiin vaelluspoikasten liikkuvan edestakaisin Raasakan voimalaitoksen yläkanavassa ja seurannan loppupuolella kolme vaelluspoikasta paikannettiin yli kilometri Raasakan voimalaitokselta ylävirtaan.

Taulukko 10. Maalimaan voimalaitoksen ylä- ja alapuolelle vapautettujen radiolähettimellä merkittyjen lohen vaelluspoikasten vaellusnopeudet (km/vrk) vapautuspaikalta Raasakan voimalaitokselle vuosina 2010–2011. Taulukossa esitetään vaellusnopeuden keskiarvo ja vaihteluväli sekä yksilömäärä, joiden perusteella keskiarvo on laskettu.

Vapautuserä	Vuosi	ka. (vaihteluväli), km/vrk	Kalojen lkm.
Maalimaan yläpuolen vapautuspaikka – Raasakka			
1	2010	11,7 (5,9–20,7)	13
2	2010	15,3 (1,0–48,0)	14
2	2011	12,4 (3,9–24,1)	8
7	2011	36,6 (18,2–55,0)	2
10	2011	13,6 (6,6–21,3)	5
Maalimaan alapuolen vapautuspaikka – Raasakka			
6	2011	34,7 (8,1–70,6)	11
9	2011	35,3 (19,7–59,0)	4

Haapakosken voimalan yläpuolelle vapautetuista vaelluspoikasista keskimäärin nopeimmin vaelsivat vapautuserän 8 poikaset, joiden vaellusnopeus oli selvästi nopeampi kuin muiden erien (taulukko 11). Viljeltyjen ja luonnossa kasvaneiden vaelluspoikasten vaellusnopeudessa ei sitä vastoin havaittu merkittäviä eroja (taulukot 11-12).

Livojoelta vapautettujen eri alkuperää olevien vaelluspoikasten keskimääräiset vaellusnopeudet vapautuspaikalta Haapakosken voimalaitokselle eivät selvästi eronneet eri alkuperää olevien poikasten välillä (taulukko 12). Livojoen vapautuserien välillä sen sijaan oli huomattava ero vaellusnopeudessa ja aikaisemman vapautuserän vaelluspoikaset saapuivat Haapakoskelle keskimäärin noin kolmessa vuorokaudessa, kun myöhemmän erän vaelluspoikasilla samaan matkaan kului keskimäärin noin 12 vuorokautta (taulukko 12). Erien välisessä vertailussa on kuitenkin syytä huomioida, että myöhemmän vapautuserän yksilömäärä oli erittäin pieni (n=4).

Taulukko 11. Haapakosken voimalan yläpuolelle vuonna 2011 vapautettujen radiolähettimellä merkittyjen lohen vaelluspoikasten vaellusnopeudet (km/vrk) Iijoen pääuoman voimalaitosten välillä. Taulukossa esitetään vaellusnopeuden keskiarvo ja vaihteluväli sekä yksilömäärä, jonka perusteella keskiarvo on laskettu. Erän 4 vaelluspoikaset on jaoteltu alkuperän mukaan luonnossa kasvaneisiin (villi) ja viljeltyihin.

Vapautus- erä	Alkuperä	Haapakoski-Pahkakoski		Pahkakoski-Kierikki		Kierikki-Maalismaa	
		ka. (vaihteluväli), km/vrk	kalojen lkm.	ka. (vaihteluväli), km/vrk	kalojen lkm.	ka. (vaihteluväli), km/vrk	kalojen lkm.
1	Viljelty	4,0 (3,1–7,2)	5	14,7 (0,4–37,6)	3	10,1 (–)	1
8	Viljelty	16,2 (5,9–32,8)	3	24,2 (8,0–52,4)	3	20,0 (9,7–28,4)	3
4	Viljelty	7,1 (–)	1	3,4 (–)	1	57,9 (–)	1
4	Villi	5,1 (–)	1	8,8 (–)	1	–	0

Taulukko 12. Livojoen Kynkääle vuonna 2011 vapautettujen luonnossa kasvaneiden (villi) ja viljeltyjen lohen vaelluspoikasten vaellusnopeudet (km/vrk) vapautuspaikalta Haapakoskelle. Taulukossa on esitetty uintinopeuden keskiarvo ja vaihteluväli sekä yksilömäärä, jonka perusteella keskiarvo on laskettu.

Vapautus- erä	Villi		Viljelty	
	ka. (vaihteluväli), km/vrk	kalojen lkm.	ka. (vaihteluväli), km/vrk	kalojen lkm.
3	29,5 (5,3–52,9)	6	31,2 (17,3–45,9)	5
5	6,8 (–)	1	23,7 (1,8–45,5)	2

4. Tulosten tarkastelu

4.1. Selviytyminen ja vaelluskäyttäytyminen

Iijokeen vapautetuista radiolähettimillä merkityistä vaelluspoikasista suurin osa lähti vaeltamaan alavirtaan pian vapautuksensa jälkeen. Kuitenkin vain harvat vaelluspoikasista uivat useamman kuin yhden voimalaitoksen läpi ja siten vaelluspoikasten selviytyminen Iijokisuulle oli heikkoa molempina tutkimusvuosina kaikilta vapautuspaikoilla.

Vaelluspoikasten selviytyminen Iijoen viiden voimalan läpi merelle oli vain 3,6 %, mikä on selvästi alhaisempi kuin esimerkiksi pohjoisamerikkalaisessa Tyyneenmereen laskevassa Kolumbia-Snake-jokisysteemissä, missä vaelluspoikasten selviytyminen merelle kahdeksan voimalaitoksen läpi oli 10–30 % 1970-luvulla, jolloin voimalaitosten ohitusratkaisuja vaelluspoikasille ei vielä ollut kehitetty (Williams ym. 2001). Ii- ja Kemijoella 1980-luvulla tehdyissä Carlin-merkintätutkimuksissa voimalaitospatojen yläpuolen merkintäerien vaelluspoikasistutuksista saatiin keskimäärin 1,1 % takaisin merialueelta, kun samoina vuosina jokisuulle tehtyjen istutusten palautusprosentti oli keskimäärin 5,7 % (Laine 2002). Palautusprosentit jokisuustutuksista olivat siten keskimäärin 5,2-kertaa suuremmat kuin patoaltaiden yläpuolisten istutusten. Viiden peräkkäisen voimalaitoksen aiheuttama kokonaisuuhävikki oli kahdella joella keskimäärin 80 %. Palautusprosentit Iijoen patoaltaiden yläpuolista istu-

tuseristä olivat kuitenkin selvästi huonompia kuin Kemijoen vastaavat (taulukko 13) ja Iijoen osalta viiden voimalaitospadon aiheuttama kokonaishävikki näiden erien kohdalla on ollut 94–100 %.

Taulukko 13. Ii- ja Kemijoen voimalaitospatojen yläpuolelle ja samana ajankohtana jokisuulle istutettujen Carlin-merkittyjen lohen vaelluspoikasten palautusprosentit merialueelta istutuserittäin. Jokisuun vertailuistutuserinä on käytetty vain niitä eriä, jotka on istutettu mahdollisimman samaan aikaan kuin voimalaitospatojen yläpuolen erät. Lähde: RKTL, merkintätoimisto.

Istutuspaikka	Istutus pvm.	Palautus-%
Iijoki, Ohtaoja	30.5.1981	0,2
Iijoki, jokisuu	5.6.1981	3,1
Iijoki, jokisuu	2.6.1981	3,2
Iijoki, Ohtaoja	31.5.1982	0,0
Iijoki, jokisuu	2.6.1982	8,5
Kemijoki, Ounasjoki	3.6.1986	2,3
Kemijoki, Ounasjoki	3.6.1986	2,1
Kemijoki, jokisuu	5.6.1986	8,1

Iijoen kahdenkin voimalaitoksen läpi merelle selviytyminen (17,5–27,5 %) oli telemetriaseuran perusteella heikkoa. Selviytyminen oli kuitenkin parempaa kuin esimerkiksi Ruotsin Testebo-joella, missä viljeltyjen lohen vaelluspoikasten selviytyminen merelle yhden voimalan läpi oli vain 3–21 % (Serrano ym. 2009). Eriyksen heikkoon (3 %) selviytymiseen Testebo-joella vaikuttivat hyvin alhaiset virtaamat tutkimusjakson aikana.

Vaelluspoikasten selviytyminen kahden voimalaitoksen kautta merelle oli Iijoen hieman parempaa vuonna 2010, mikä pääosin johtuu vuonna 2011 vapautettujen vaelluspoikasten heikommasta vaelluksen käynnistymisestä. Selvästi muita heikoimmin liikkeelle lähtivät vuonna 2011 6. kesäkuuta vapautetut vaelluspoikaset. Maalimaan voimalan yläpuolelle vapautettujen vaelluspoikasten vaelluskäyttäytymisen eroihin on kuitenkin vaikea arvioida yksilöityä syytä. On mahdollista, että 6. kesäkuuta vapautetut poikaset olivat heikommassa kunnossa kuin muiden vapautuserien poikaset, sillä kyseisen vapautuserän poikaset merkittiin odottamaan vapautusta jo 3. kesäkuuta. Vesi lämpeni nopeasti merkinnän ja vapautuksen välisenä aikana, mikä saattoi aiheuttaa lisästressiä vastamerkityille poikasille ja siten heikentää niiden kuntoa ja vaellusaktiivisuutta. Toisaalta samana päivänä Maalimaan voimalan alapuolelle vapautetuilla, samaan aikaan merkityillä, vaelluspoikasilla ei havaittu yhtä heikkoa vaellusaktiivisuutta.

Tutkimuksessa havaittiin eroja Maalimaan voimalan yläpuolelle vapautettujen vaelluspoikasten vaellusnopeudessa jokisuulle selviytyneiden ja Raasakan voimalan yläpuolelle jääneiden vaelluspoikasten välillä. Raasakan voimalan yläpuolelle jääneet vaelluspoikaset uivat vapautuspaikalta Raasakan voimalaitospadolle keskimäärin hitaammin kuin jokisuulle selviytyneet yksilöt. Varsinkin vuonna 2010 ero näiden kahden ryhmän välillä oli huomattava. Yksilöityjä syytä Raasakan yläpuolelle jääneiden hitaampaan etenemiseen on tutkimusaineiston perusteella vaikea arvioida, mutta selittäviä tekijöitä voivat olla esimerkiksi merkinnän aiheuttama stressi, vahingoittuminen Maalimaan voimalan turbiineissa tai erot vaellusvalmiudessa.

Viljellyillä vaelluspoikasilla vaellusvalmiuden määrittäminen kalan ulkoisen olemuksen perusteella on vaikeata, sillä poikasten hopeoitumisen on havaittu olevan positiivisesti korreloitunut kalan koon kanssa, jolloin viljelty poikaset saattavat hopeoitua jo ennen kuin ne ovat muilta ominaisuuksiltaan saavuttaneet vaellusvalmiuden (Pasternack ym. 2008). Viljeltyjen vaelluspoikasten vaellusaktiivisuus voi siten vaihdella yksilöiden välillä, vaikka poikasissa ei havaita ulkoisia eroja.

Viljeltyjen ja luonnossa kasvaneiden vaelluspoikasten vaellukselle lähtö erosi huomattavasti Haapakosken voimalan yläpuolelle vapautetussa erässä. Luonnossa kasvaneista vaelluspoikasista Haapakosken voimalan läpäisi 88 % ja viljellyistä vain 25 %. Syynä viljeltyjen vaelluspoikasten heikkoon liikkeelle lähtöön on voinut olla pitkän kuljetusmatkan aiheuttama rasitus. Erässä vapautetut viljeltyt vaelluspoikaset kuljetettiin Haapakoskelle Livojoen pyyntipaikan kautta ja kuljetusmatkaa kertyi yhteensä n. 145 km.

Livojoelta vapautettujen luonnossa kasvaneiden ja viljeltyjen lohen vaelluspoikasten välillä ei tässä tutkimuksessa havaittu merkittäviä eroja vaellusnopeudessa tai vaelluskäyttäytymisessä, mikä poikkesi odotuksista, sillä Aarestrup ym. (2002) havaitsivat tutkimuksessaan taimenen ja lohen luonnossa kasvaneiden vaelluspoikasten vaeltavan nopeammin kuin viljeltyjen. Lijoella vaelluspoikasten vaellusnopeuden havaittiin vaihtelevan huomattavasti yksilöiden välillä (0,1–70,5 km/vrk). Lijoella havaitut vaellusnopeuksien keskiarvot (4,0–39,3 km/vrk) olivat kuitenkin samaa luokkaa kuin aikaisemmissa tutkimuksissa lohen vaelluspoikasilla. Lohen vaellusnopeuden on havaittu yleisesti vaihtelevan 5,8–39,7 km/vrk (Dempson & Stansbury 1991, Fångstam 1993, Fångstam ym. 1993, Rivinoja 2005) ja lisäksi Oulujoella tehdyissä radiotelemetriaseurannoissa vaelluspoikasten vaellusnopeus on vaihdellut 1,4–49,0 km/vrk istutusajankohdasta riippuen (Annala 2008, Orell ym. 2011).

Livojoelta vapautetuista luonnossa kasvaneista lohen vaelluspoikasista useampi kuitenkin läpäisi lijoen pääuoman ylimmän voimalaitoksen (Haapakoski), mikä voi kertoa näiden poikasten suuremmasta vaellusaktiivisuudesta. Kuitenkin vain harvat näistä poikasista selviytyvät enää seuraavalle voimalaitokselle. Heikkoa selviytymistä voi osaltaan selittää se, että luonnossa kasvaneiden vaelluspoikasten radiolähettimen ja kalan painon suhde oli keskimäärin yli kaksi kertaa suurempi (ka 5,0 %) kuin viljeltyjen kalojen (ka 2,3 %).

Yleisesti telemetriamerkinällä ei oleteta olevan vaikutusta kalan käyttäytymiseen tai selviytymiseen, jos merkin ja kalan painon suhde on alle 2 %, mutta vaihtelua voi olla lajin, kalan kokoluokan tai alkuperän mukaan (Peake ym. 1993, Jepsen ym. 2005). Esimerkiksi kuningaslohen (*Oncorhynchus tshawytscha*) vaelluspoikasilla merkinnän havaittiin vaikuttavan ainoastaan pienempikokoisten poikasten (<120 mm; merkin ja kalan painon suhde 4,6–10,4 %) uintikykyyn 20 vuorokautta kestävässä kokeessa, ja isompien poikasten (>120 mm; merkin ja kalan painon suhde 2,2–5,6 %) uintikykyyn merkinnällä ei havaittu olevan vaikutusta (Adams ym. 1998). Lohella tehdyissä tutkimuksissa merkinällä ei ole havaittu olevan vaikutusta viljeltyjen vaelluspoikasten uintikykyyn (Peake ym. 1997) tai käyttäytymiseen (Connors ym. 2002), mutta merkinnän on havaittu heikentävän luonnon vaelluspoikasten uintikykyä 1–16 tuntia merkinnän jälkeen (Peake ym. 1997). Merkintä aiheuttaakin luultavasti suurempaa stressiä käsittelyyn tottumattomille luonnon vaelluspoikasille, minkä seurauksena niiden uintikyky heikkenee ainakin väliaikaisesti merkinnän jälkeen (Peake ym. 1997).

Adams ym. (1998) havaitsivat lisäksi, että petoaltistuskokeessa merkityt kuningaslohen vaelluspoikaset jäivät todennäköisemmin petokalan saaliiksi kuin merkitsemättömät yksilöt. Tämän perusteella on mahdollista, että myös lohella radiolähettimellä merkittyjen vaelluspoikasten predaatiokuolleisuus voi olla suurempaa kuin merkitsemättömillä yksilöillä.

4.2. Vaellusongelmat ja niiden ratkaisumahdollisuudet

lijoen voimalaitospatojen havaittiin hidastavan tai jopa estävän vaelluspoikasten alasvaellusta. Useat voimalaitospatojen yläpuolelle saapuneista vaelluspoikasista eivät vaeltaneet seurannan aikana voimalaitosten läpi ja osa vaelluspoikasista lähti vaeltamaan jopa takaisin ylävirtaan. Myös aikaisemmissa lohikalojen (*Salmo* spp. ja *Oncorhynchus* spp.) vaelluspoikasten radiotelemetriatutkimuksissa voimalaitospatojen on havaittu aiheuttavan vastaavanlaista käyttäytymistä (Giorgi ym. 1988, Vendetti ym. 2000, Rivinoja 2005, Schilt 2007).

Lohen vaelluspoikaset vaeltavat vesimassan pintakerroksessa (Hvidsten & Johnson 1997, Moore ym. 1998), jolloin voimalaitosten turbiinien vedenottoaukkojen sijainti syvemmällä vesimassassa voi vaikeuttaa alasvaellusreitien löytymistä. Radiolähettimillä merkittyjen vaelluspoikasten on havaittu liikkuvan padon yläpuolella poikittaissuuntaisesti etsien alasvaellusreittiä ensisijaisesti vesimassan pintakerroksesta (Vendetti ym. 2000). Jos vaellusreittiä ei vesimassan pintakerroksesta löydy, osa vaelluspoikasista hakeutuu lopulta, useimmiten yöaikaan, syvemmälle ja vaeltaa voimalan alapuolelle turbiinien kautta (Vendetti ym. 2000).

lijoella voimalaitosten vedenottoaukot sijaitsevat pääosin varsin syvällä (4–11 m syvyydessä), joten on mahdollista, etteivät voimalaitospatojen yläpuolelle jääneet vaelluspoikaset löytäneet reittiä voimalaitoksen alapuolelle. Lisäksi lijoella on käytössä voimakas juoksutusten vuorokausisäännöstely ja usein virtaamat ovat yöaikaan hyvin alhaisia ja turbiineja voidaan jopa pysäyttää kokonaan. Virtaamien väheneminen yöaikaan voikin entisestään hankaloittaa vaelluspoikasten hakeutumista turbiinivirtaamien mukana voimalaitosten läpi.

Voimalaitosturbiinien on myös havaittu aiheuttavan eriaisteisia fyysisiä vammoja vaelluspoikasille (Čada 2001), mikä voi vaikuttaa vaelluspoikasten halukkuuteen läpäistä useampia voimalaitoksia. Vammautuminen tai vaihtoehtoisesti edellisen turbiinin läpiuinnin pelotevaikutus voi olla osa syynä vaelluspoikasten pysähtymiseen voimalaitosten yläpuolelle.

Vaelluspoikaset voivat joskus myös lähteä takaisin ylävirtaan etsimään parempaa alasvaellusreittiä (Vendetti ym. 2000). Tällaista käyttäytymistä on havaittu esimerkiksi Snake-joella kuningaslohen vaelluspoikasilla, jotka vaelsivat padolta takaisin ylävirtaan jopa 15 km (Vendetti ym. 2000). Myös lijoella Raasakan voimalaitospadon läheltä paikannettuja vaelluspoikasiasa löydettiin myöhemmin jopa 6 km padolta ylävirtaan. Osa havaitusta ylävirtaan liikkumisesta voi kuitenkin olla seurausta predaatiosta, jolloin voimalaitoksen yläpuolelta saalistetun vaelluspoikasen merkki siirtyy ylävirtaan petokalan mukana.

Voimalaitosrakentamisen aiheuttama vaelluksen hidastuminen lisää myös vaelluspoikasten kuolleisuutta, sillä mitä kauemmin vaelluspoikaset viettävät aikaa jokivaelluksella sitä suurempi riski niillä on jäädä pedon saaliiksi (Berggren & Filardo 1993, Aarestrup ym. 2002). Lijoella vesivoimarakentamisen vaikutus predaatiokuolleisuuteen oli selvä: voimalaitosten yläpuolisen vapaan jokiosuuden kuolleisuus oli huomattavasti alhaisempi kuin rakennetun jokiosuuden. Patoallaskuolleisuus oli suurta varsinkin voimalaitospatojen yläpuolella Haapakoskella ja Raasakassa sekä hitaasti virtaavilla suvan-toalueilla. Predaatoriskin vaihtelu jokiosuuksien välillä on yleistä ja predaation on myös aikaisemmin havaittu olevan suurinta voimalaitosten läheisyydessä (Ward ym. 1995) ja patoaltaiden järvimäisillä osuuksilla (Jepsen ym. 1998, Olsson ym. 2001).

Predaation lisäksi rakennetuilla joilla kuolleisuutta aiheuttavat voimaloiden turbiinit. Lijoella tehdyissä telemetriaseurannoissa turbiinikohtaisen suoran kuolleisuuden arvioitiin vaihtelevan 0–17 % välillä. Lijoella havaittu turbiinikuolleisuus oli samaa suuruusluokkaa kuin aikaisemmissa tutkimuksis-

sa, missä turbiinikuolleisuuden (Kaplan-turbiinit) on havaittu vaihtelevan voimalaitoskohtaisesti 4–17 % välillä (Schoeneman ym. 1961, Stier & Kynard 1986, Bickford & Skalski 2000, Coutant & Whitney 2000, Rivinoja 2005). Vaikka turbiinikohtainen kuolleisuus voimalaitosta kohti ei ole huomattavan suurta, on vaelluspoikasten selviytyttävä alasvaelluksensa aikana lijoella viidestä voimalaitoksesta. Jos oletetaan jokaisella voimalaitoksella kuolleisuuden olevan 10 %, saadaan viiden voimalan aiheuttamaksi kokonaiskuolleisuudeksi jo 41 %. Turbiinien läpäisystä voi lisäksi aiheutua ns. viivästyntä kuolleisuutta eli vaelluspoikasia kuolee turbiinien aiheuttamiin vammoihin tai stressiin myöhemmin vaelluksen aikana. Viivästyneen kuolleisuuden on arvioitu olevan 46–70 % turbiinikuolleisuudesta (Ferguson ym. 2006). Tässä tutkimuksessa viivästynyt kuolleisuus sisältyy patoallaskuolleisuuteen ja sitä on yleensäkin vaikeaa erottaa muusta kuolleisuudesta.

Voimaloista aiheutuvaa kuolleisuutta voidaan vähentää ohjaamalla vaelluspoikasia voimalaitosten ohi vaihtoehtoisten reittien, kuten ohijuokutuspatojen tai erikseen rakennettujen alasvaellusreittien kautta (Coutant & Whitney 2000, Muir ym. 2001, Skalski ym. 2002, Scruton ym. 2003). Vaihtoehtoisia reittejä käyttämällä vähennetään sekä turbiinikuolleisuutta että voimalaitoksista aiheutuvaa vaelluksen hidastumista. Voimalaitosten ohitusratkaisujen suunnittelu ja kehitys on ollut aktiivista Pohjois-Amerikassa, missä tutkimukset ovat keskittyneet Tyyneenmereen laskeviin jokiin ja *Oncorhynchus*-suvun lohien vaelluspoikasiin (esim. Schoeneman ym. 1961, Liscom 1971, Gessel ym. 1991, Muir ym. 2001, Williams ym. 2001, Johnson ym. 2005, Ferguson ym. 2007). Voimalaitoksista aiheutuvaa vaelluspoikasten kuolleisuutta on saatu vähennettyä huomattavasti Kolumbia- ja Snake-joilla, missä vaelluspoikasten selviytyminen kahdeksasta voimalaitoksesta oli vielä 1970-luvun lopussa vain 10–30 %, mutta on parantunut 1990-luvulla 31–59 %:iin voimalaitoksilla tehtyjen muutosten ja petokalojen aktiivisen pyydystämisen avulla (Williams ym. 2001).

Vaelluspoikasten ohjaaminen turbiinit ohittaville vaihtoehdoisille reiteille voidaan toteuttaa fyysisillä rakenteilla tai vaelluspoikasten käyttäytymiseen vaikuttavilla menetelmillä. Vuosien aikana on kokeilu monia erilaisia ohjauskeinoja (Ruggles 1980, Schilt 2007), mutta vieläkään ei ole onnistuttu kehittämään yhtä varmasti toimivaa ratkaisumallia (Williams ym. 2011). Fyysisiä rakenteita on laajasti käytössä Kolumbiajoella, missä voimaloiden turbiinin vedenottokanavan yläreunaan on asennettu kiinteitä, metallisia verkkorakenteita (eng. screens), jotka ohjaavat vaelluspoikaset turbiinien ohitusreitille (Taft 2000).

Vaelluspoikasia varten voidaan rakentaa myös voimalaitoksen yläkanavaan sijoitettavia kelluvia ohjausaitarakenteita, joiden avulla vaelluspoikaset voidaan ohjata kohti ohijuokutuspatoa tai muuta alasvaellusreittiä (Scruton ym. 2003). Tällainen ohjausaitarakenne on esimerkiksi säleikkösuuntaaja (louver), joka muodostuu tyypillisesti virtaukseen nähden 90 asteen kulmassa olevista pystysuorista sälesarjoista, ja se asetetaan diagonaalisesti vaelluspoikasten reitille (Bates & Vinsonhaler 1957). Säleikkösuuntaajia on käytetty onnistuneesti lohien vaelluspoikasten ohjaamiseen (ks. Scruton ym. 2003). Joissain tutkimuksissa vaelluspoikasia on myös onnistuttu ohjaamaan ohijuokutuspatojen kautta alas pelkästään sopivien virtaamien avulla (Muir ym. 2001).

4.3. Toimenpidetarpeet lijoella

lijoella ja muissa lohijoissa tehtyjen tutkimusten perusteella tulevissa lijojen lohikannan palauttamissuunnitelmissa ja -toimenpiteissä on syytä kiinnittää huomiota alasvaeltavien vaelluspoikasten selviytymisen parantamiseen. Vaelluspoikasille suurimman ongelman muodostavat voimalaitosten läpäi-

seminen ja läpäisyn viivästymisestä johtuva predaation kasvu. Vaelluspoikasille tulisikin suunnitella vaihtoehtoisia kulkureittejä voimalaitosten ohi ja lisäksi selvittää tarkemmin voimalaitosten käytön vaikutusta vaelluspoikasten käyttäytymiseen. Lijoella käyttökelpoinen ratkaisu voisi olla voimaloiden yläpuolelle asennettavat ohjausaitarakenteet (esim. säleikkösuuntaaja), joilla laskuvaelluksella olevat vaelluspoikaset ohjattaisiin nopeasti vaihtoehtoisen reitin (esim. kalatie tai muu ohitusuoma) kautta voimalaitoksen ohi.

lijoella on lisäksi huomioitava rakennetuille joille tyypillinen petokalakantojen kasvu luonnonmukaisiin jokivesistöihin nähden, joka vaikuttaa heikentävästi vaelluspoikasten selviytymiseen. Peto-pyynnin järjestäminen keskeisimmillä ongelma-alueilla voisi edesauttaa lohen vaelluspoikasten selviytymistä ja sitä kautta lohikantojen palauttamispyrkimyksiä.

Kiitokset

Tutkimusryhmä kiittää PVO-Vesivoima Oy:tä ja Raasakan kalanviljelylaitosta ja heidän henkilökuntaa erinomaisesta yhteistyöstä kenttätutkimuksen aikana. Kiitämme lisäksi PVO-Vesivoima Oy:tä viljeltyjen lohen vaelluspoikasten luovuttamisesta tutkimuskaloiksi. Yhteistyö Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen asiantuntijoiden ja ”Vaelluskalat palaavat lijokeen” -hankkeen kanssa oli tiivistä ja tämä edesauttoi hankkeen menestyksellistä toteuttamista, tästä vankat kiitokset. Erityiskiitoksen ansaitsevat myös kaikki hankkeen kenttätöihin osallistuneet työntekijät ja kesäharjoittelijat.

Tämä tutkimushanke oli osa ”Rakennettujen jokien vaelluskalakantojen hoitotoimenpiteet – menetelmäkirjon arviointi ja kehittäminen” -hankekokonaisuutta, jota rahoittavat maa- ja metsätalousministeriö (MMM), Fortum Oy (Ekoenergia-merkin ympäristörahoitus) ja Energiateollisuus ry. Suuret kiitokset kaikille rahoittajille taloudellisesta tuesta ja vilkkaasta vuoropuhelusta hankkeen eri vaiheissa.

Viitteet

- Aarestrup, K., Nielsen, C. & Koed, A. 2002. Net ground speed of downstream migrating radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.) smolts in relation to environmental factors. *Hydrobiologia* 483: 95–102.
- Adams, N. S., Rondorf, D. W., Evans S. D., Kelly, J. E. & Perry, R. W. 1998. Effects of surgically and gastrically implanted radio transmitters on swimming performance and predator avoidance of juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55: 781–787.
- Annala, M. 2008. Vaelluskalat palaavat lijokeen: Smolttien alusvaellustappiot osana hankkeen riskianalyysiä. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, käsikirjoitus 14s.
- Bates, D. W. & Vinsonhaler, R. 1957. Use of louvers guiding fish. *Transactions of the American Fisheries Society* 86: 38–57.
- Berggren, T. J. & Filardo, M. J. 1993. An analysis of variables influencing the migration of juvenile salmonids in the Columbia River basin. *North American Journal of Fisheries Management* 13: 48–63.
- Bickford, S. A. & Skalski, J. R. 2000. Reanalysis and interpretation of 25 years of Snake-Columbia River juvenile salmonid survival studies. *North American Journal of Fisheries Management* 20: 53–68.
- Čada, G. F. 2001. The development of advanced hydroelectric turbines to improve fish passage survival. *Fisheries* 26: 14–23.
- Connors, K. B., Scruton, D., Brown, J. A. & McKinley, R. S. 2002. The effects of surgically-implanted dummy radio transmitters on the behaviour of wild Atlantic salmon smolts. *Hydrobiologia* 483: 231–237.

- Coutant, C. C. & Whitney, R. R. 2000. Fish behavior in relation to passage through hydropower turbines: a review. *Transactions of the American Fisheries Society* 129: 351–380.
- Dempson, J. B. & Stansbury, D. E. 1991. Using partial counting fences and a two-sample stratified design for mark-recapture estimation of an Atlantic salmon smolt population. *North American Journal of Fisheries Management* 11: 27–37.
- Ferguson, J. W., Absolon, R. F., Carlson, T. J. & Sandford, B. P. 2006. Evidence of delayed mortality on juvenile Pacific salmon passing through turbines at Columbia River dams. *Transactions of the American Fisheries Society* 135: 139–150.
- Ferguson, J. W., Sandford, B. P., Reagan, R. E., Gilbreath, L. G., Meyer E. B., Ledgerwood, R. D. & Adams, N. S. 2007. Bypass system modification at Bonneville Dam on the Columbia River improved the survival of juvenile salmon. *Transactions of the American Fisheries Society* 136:1487–1510.
- Fängstam, H., Berglund, I., Sjöberg, M. & Lundqvist, H. 1993. Effects of size and early sexual maturation on downstream migration during smolting in Baltic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Fish Biology* 43: 517–529.
- Fängstam, H. 1993. Individual downstream swimming speed during the natural smolting period among young of Baltic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Zoology* 71: 1782–1786.
- Gessel, M. H., Williams J. G., Brege, D. A., Krcma, R. F. & Chambers, D. R. 1991. Juvenile salmonid guidance at the Bonneville Dam second powerhouse, Columbia River, 1983-1989. *North American Journal of Fisheries Management* 11:400–412.
- Giorgi, A. E., Swan, G. A., Zaugg, W. S., Coley, T. & Barila, T. Y. 1988. Susceptibility of Chinook salmon smolts to bypass systems at hydroelectric dams. *North American Journal of Fisheries Management* 8:25–29.
- Hvidsten, N. A. & Johnson, B. O. 1997. Screening of descending Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts from hydropower intake in the River Okla, Norway. *Nordic Journal of Freshwater Research* 73: 44–49.
- Jepsen, N., Aarestrup, K., Økland, F. & Rasmussen, G. 1998. Survival of radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and trout (*Salmo trutta* L.) smolts passing a reservoir during seaward migration. *Hydrobiologia* 371/372: 347–353.
- Jepsen, N., Schreck, C., Clemets, S. & Thorstad, E. B. 2005. A brief discussion on the 2% tag/body mass rule of thumb. Aquatic telemetry: advances and applications. Proceedings of the Fifth Conference on Fish Telemetry held in Europe. Rome, FAO/COISPA, 2005, 295p.
- Johnson, G. E., Anglea, S. M., Adams, N. S. & Wik, T. O. 2005. Evaluation of a prototype surface flow bypass for juvenile salmon and steelhead at the powerhouse of lower Granite Dam, Snake River, Washington, 1996-2000. *North American Journal of Fisheries Management* 25:138–151.
- Laine, A., Niva, T., Mäki-Petäys, A. & Erkinaro, J. 2002. Kalabiologiset perusteet. Teoksessa: Loikkaako lohi Ounasjokeen? Vaelluskalojen palauttaminen Kemi-/Ounasjokeen. Esiselvitys. Lapin ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 271: 127-199.
- Laine, A. 2010. Vaelluskalojen kulun toteuttamismahdollisuudet Iijoella. Pohjois-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Saatavissa osoitteesta: www.ymparisto.fi/ppo/VaelluskalatPalaavatIijokeen.
- Liscom, K. L. 1971. Orifice placement in gatewells of turbines for bypassing juvenile fish around dams. *Transactions of the American Fisheries Society* 2: 319–324.
- McCormick, S.D., Hansen, L. P., Quinn, T. P. & Saunders, R. L. 1998. Movement, migration, and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55: 77–92.
- Moore, A., Ives, S., Mead, T. A. & Talks, L. 1998. The migratory behaviour of wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts in the River Test and Southampton Water, southern England. *Hydrobiologia* 372: 295–304.
- Muir, W. D., Smith S. G., Williams, J. G. & Sandford, B. P. 2001. Survival of juvenile salmonids passing through bypass systems, turbines, and spillways with and without flow deflectors at Snake River dams. *North American Journal of Fisheries Management* 21:135–146.
- Olsson, I. C., Greenberg, L. A. & Eklöv, A. G. 2001. Effect of an artificial pond on migrating brown trout smolts. *North American Journal of Fisheries Management* 21: 498-506.
- Orell, P., Huusko, R., van der Meer, O., Jaukkuri, M., Kanninen, T., Karppinen, P. & Mäki-Petäys, A. 2011. Lohen vaelluspoikastutkimukset Oulujoella v. 2009–2010. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, työraportti 25.2.2011, Oulujoen kalateiden suunnittelu ja tukitoimenpiteet.
- Pasternack, M., Salminen, M. & Heinimaa, P. 2008. Kasvatettujen lohen poikasten kunto ja vaellusvalmius vuosina 2004–2006. Riista- ja kalatalous – selvityksiä 14/2008. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki, 30s.

- Peake, S., McKinley, R. S., Scruton, D. A. & Moccia, R. 1997. Influence of transmitter attachment procedures on swimming performance of wild and hatchery-reared Atlantic salmon smolts. *Transactions of the American Fisheries Society* 126:707–714.
- Rivinoja, P. 2005. Migration problems of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in flow regulated rivers. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Doctoral thesis No. 2005: 114.
- Ruggles, C. P. 1980. A review of downstream migration of Atlantic salmon. Canadian technical report of fisheries and aquatic society 952: 1–27.
- Schilt, C. R. 2007. Developing fish passage and protection at hydropower dams. *Applied Animal Behaviour Science* 104: 295–325.
- Schoeneman, D. E., Pressey, R. T. & Junge, C. O. 1961. Mortalities of downstream migrant salmon at McNary Dam. *Transactions of the American Fisheries Society* 90: 58–72.
- Scruton, D. A., McKinley, R. S., Kouwen, N., Eddy, W. & Booth, R. K. 2003. Improvement and optimization of fish guidance efficiency (FGE) at a behavioural fish protection system for downstream migrating Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *River Research and Applications* 19: 605–617.
- Serrano, I., Rivinoja, P., Karlsson, L. & Larsson, S. 2009. Riverine and early marine survival of stocked salmon smolts, *Salmo salar* L., descending the Testebo River, Sweden. *Fisheries Management and Ecology* 16: 386–394.
- Skalski, J. R., Townsend, R., Lady, J., Giorgi, A. E., Stevenson J. R. & McDonald, R. D. 2002. Estimating route-specific passage and survival probabilities at a hydroelectric project from smolt radiotelemetry studies. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 1385–1393.
- Stier, D. J. & Kynard, B. 1986. Use of radio telemetry to determine the mortality of Atlantic salmon smolts passed through a 17-MW Kaplan turbine at a low-head hydroelectric dam. *Transactions of the American Fisheries Society* 115: 771–775.
- Taft, E. P. 2000. Fish protection technologies. A status report. *Environmental Science & Policy* 3: 349–359.
- Ward, D. L., Petersen, J. H. & Loch, J. J. 1995. Index of predation on juvenile salmonids by northern squawfish in the Lower and Middle Columbia River and in the Lower Snake River. *Transactions of the American Fisheries Society* 124: 321–334.
- Vendetti, D. A., Rondorf, D. W. & Kraut, J. M. 2000. Migratory behavior and forebay delay of radio-tagged juvenile fall chinook salmon in a Lower Snake River impoundment. *North American Journal of Fisheries Management* 20: 41–52.
- Williams, J. G., Armstrong, G., Katopodis, C., Larinier, M. & Travade, F. 2011. Thinking like a fish: a key ingredient for development of effective fish passage facilities at river obstructions. *River Research and Applications* DOI: 10.1002/rra.1551.
- Williams, J. G., Smith, S. G. & Muir, W. D. 2001. Survival estimates for downstream migrant yearling juvenile salmonids through the Snake and Columbia Rivers hydropower system 1966-1980 and 1993-1999. *North American Journal of Fisheries Management* 21: 310–317.

Liitteet

Liite 1. Maalismaan voimalan yläpuolelle vuosina 2010–2011 vapautettujen radiolähettimellä merkittyjen lohen vaelluspoikasten selviytyminen (%) vapautuspaikalta automaattisille seurantapaikoille vapautuserittäin ja vuosittain (vapautuserät yhdistetty). Selviytyminen on laskettu aktiivisesti alasvaellukselle lähteneiden vaelluspoikasten perusteella.

Selviytyminen, %						
Vapautuserä	Kalojen lkm.	Vuosi	Jakkukylä	Raasakan yläpuolelle	Raasakan alapuolelle	Jokisuulle
1	16	2010	87,5	81,3	43,8	31,3
2	17	2010	94,1	87,5	31,3	35,3*
1+2	33	2010	90,9	84,4	37,5	33,3
2	19	2011	-	42,1	26,3	21,1
7	4	2011	-	50,0	25,0	25,0
10	5	2011	-	100,0	60,0	40,0
2+7+10	28	2011	-	53,6	28,6	25,0

*yksi vaelluspoikanen vaelsi jokisuulle lijoen vanhan jokiuoman kautta

Liite 2. Maalismaan voimalan ylä- ja alapuolelle 6.–7.6.2011 vapautettujen radiolähettimellä merkittyjen vaelluspoikasten selviytyminen (%) vapautuserittäin ja vapautuspaikoittain. Vapautuspaikka 1=Maalismaan yläpuoli, 2=Maalismaan alapuoli. Selviytyminen on laskettu aktiivisesti alasvaellukselle lähteneiden vaelluspoikasten perusteella.

Selviytyminen, %					
Vapautuserä	Kalojen lkm.	Vapautuspaikka	Raasakan yläpuolelle	Raasakan alapuolelle	Jokisuulle
7	4	1	50,0	25,0	25,0
10	5	1	100,0	60,0	40,0
7+10	9	1	77,8	44,4	33,3
6	12	2	91,7	41,7	41,7
9	6	2	66,7	0,0	0,0
6+9	18	2	83,3	27,8	27,8